

ANALYSIS

Rivista di cultura e politica scientifica

Analysis - Rivista Quadrimestrale - Anno XXII n. 2 maggio/agosto 2021 - Poste Italiane S.p.A. - Sped. in Abb. Poste DL 353/2003
(conv. in Legge 27/02/2004 n. 46 Art. 1, Comma 1) - CN/BO - Patron Editore - Via Badini 12 - Quarto Inferiore - 40057 Granarolo dell'Emilia (Bo)



2

2021

COLLOQUIO DI FRANCESCO SUMAN CON UGO AMALDI

CASO CERN: GESTIONE DELLE RISORSE NELLE GRANDI COLLABORAZIONI SCIENTIFICHE

MARTE LA NUOVA FRONTIERA DELL'ESPLORAZIONE SPAZIALE

PROBLEMA DI INIQUITÀ NEL DDL 988 SULL'AGRICOLTURA BIOLOGICA?

PRIMA ESPERIENZA IN ITALIA DI SPERIMENTAZIONE PARTECIPATIVA SUL MAIS

ISSN 1591-0695

Patron Editore

ANALYSIS

Rivista di cultura e politica scientifica

Anno XXII - N. 2/2021

SOMMARIO

	<i>Presentazione</i>	p. 3
Colloquio di Francesco Suman con Ugo Amaldi	<i>PNRR, sparisce il piano Amaldi per la ricerca: ora si guarda alla legge di bilancio</i>	» 5
Antonio Baroncelli	<i>La gestione delle risorse nelle grandi collaborazioni scientifiche. Il caso CERN</i>	» 8
Guido Saccone, Gianfranco Morani	<i>Marte la nuova frontiera dell'esplorazione spaziale internazionale</i>	» 15
Sergio Saia	<i>C'è un problema di iniquità nel DDL 988 sull'agricoltura biologica?</i>	» 31
Rita Redaelli, Paolo Valoti, Carlotta Balconi, Giuseppe De Santis, Bettina Bussi, Riccardo Bocci	<i>Sperimentazione partecipativa per il mais: prima esperienza in Italia</i>	» 40

ANALYSIS - 2/2021

Direttore

Roberto Palaia

Comitato di Redazione

Antonio Baroncelli, Giovanni Del Monte,
Giovanni Gullà, Emanuela Reale,
Laura Teodori

Segreteria

Marta Cascarano, Livia Steve

Internet: www.analysis-online.net

International Standard Serial Number: ISSN 1591-0695

Direzione e Redazione: presso ANPRI

Gli autori degli articoli sono responsabili delle loro opinioni.
È obbligatorio citare la rivista in caso di riferimento al materiale pubblicato.

Periodico quadrimestrale di proprietà dell'ANPRI, Associazione Nazionale Professionale per la Ricerca, affiliata alla CIDA, Confederazione Italiana Dirigenti e Alte professionalità, Funzione Pubblica Via Tortona, 16 00183 Roma
Tel. 06.7012656 - Fax 06.7012666 e-mail: anpri@anpri.it
Sito Internet: www.anpri.it

Autorizzazione del Tribunale di Roma N. 31/2020 del 24.03.2020

Precedente Autorizzazione del Tribunale di Roma N. 253/99 del 07.06.1999

Precedente Autorizzazione del Tribunale di Roma N. 465/94 del 17.10.1994

Precedente Autorizzazione del Tribunale di Torino N. 4132 del 24.01.1990

Stampa: LI.PE., Litografia Persicetana, S. Giovanni in Persiceto, Bologna, per conto della Pàtron Editore

In copertina: Marte la nuova frontiera dell'esplorazione spaziale internazionale

PRESENTAZIONE

L'annoso problema del finanziamento alla ricerca è il tema di un lungo colloquio con Ugo Amaldi (*PNRR, sparisce il piano Amaldi per la ricerca. Ora si guarda alla legge di bilancio*), insigne fisico che ha svolto a lungo la propria attività presso il CERN, il quale prende le mosse dal dibattito scaturito dal cosiddetto documento Amaldi – Maiani, nel quale si proponeva un piano per portare nel corso di un quinquennio il finanziamento alla ricerca pubblica dallo 0,5 al 1% del PIL, in linea con quanto succede per esempio in Germania (che è meno di quanto avviene negli USA o in Giappone, ma più di quanto avviene per esempio in Spagna o in Francia). Il lancio del PNRR certamente aiuterà il trasferimento tecnologico e il rinnovamento delle infrastrutture, ma il vero banco di prova sarà rappresentato dalla presenza o meno di un graduale aumento del finanziamento alla ricerca pubblica (attualmente con lo 0.37% siamo agli ultimi posti in ogni contesto internazionale) nella prossima sessione di bilancio. Una dettagliata disamina di come vengono gestite effettivamente le risorse in una grande struttura di ricerca è presentata nell'articolo di Baroncelli (*La gestione delle risorse nelle grandi collaborazioni scientifiche. Il caso del Cern*), che ricostruisce i “retroscena” tecnologici e scientifici che stanno dietro tutte le grandi iniziative di ricerca, con le innumerevoli ricadute produttive che esse determinano. Saccone e Morani (*Marte la nuova frontiera dell'esplorazione spaziale internazionale*) ci portano su Marte: nel febbraio di quest'anno tre missioni spaziali degli Stati Uniti, degli Emirati Arabi Uniti e della Cina hanno raggiunto il pianeta “rosso”, apportando nuove conoscenze

relative al pianeta, ma anche mettendo in luce una nuova competizione scientifica, ma soprattutto geopolitica per il controllo dello spazio. Il recente acceso dibattito sulla equiparazione fra agricoltura biologica e biodinamica scaturito dall'approvazione in Senato del DDL n. 988 è al centro dell'articolo di Saia (*C'è un problema di iniquità nel DDL 988 sull'agricoltura biologica?*) che approfondisce la questione, scandagliando i punti più controversi che hanno animato il dibattito. Infine nell'articolo *Sperimentazione partecipativa per il mais: prima esperienza in Italia* è descritta, dal gruppo di ricerca che l'ha coordinata, la sperimentazione finalizzata alla selezione fenotipica al fine di conseguire un miglioramento genetico partecipativo nella coltivazione del mais. Nei prossimi numeri continueremo a seguire il dibattito sull'entità dei fondi alla ricerca e sulla loro utilizzazione a seguito dell'approvazione del PNRR, così come il tema del reclutamento e delle carriere diventato di stretta attualità con la discussione avvenuta in Senato del DDL 2285. Altra questione cruciale che non mancheremo di monitorare è il quadro delle riforme che si andrà a costruire a corredo del PNRR con particolare attenzione alle norme relative all'autogoverno degli Enti di ricerca, essenziali per l'effettivo ed efficace utilizzo delle risorse nei tempi previsti. Non vogliamo esimerci infine di esprimere tutto il nostro compiacimento per il premio Nobel per la Fisica assegnato a Giorgio Parisi per il suo contributo allo studio “alla scoperta dell'interazione fra disordine e fluttuazione nei sistemi fisici, dalla scala atomica a quella planetaria” e con particolare riguardo alla comprensione del clima della Terra.

PNRR, SPARISCE IL PIANO AMALDI PER LA RICERCA: ORA SI GUARDA ALLA LEGGE DI BILANCIO

Colloquio di Francesco Suman con UGO AMALDI¹

La quarta missione del Piano nazionale di ripresa e resilienza (PNRR) è dedicata a “Istruzione e Ricerca” e riceve complessivamente 33,81 miliardi di euro, la maggior parte dei quali provengono dal fondo Next Generation Eu (30,88), il resto da React Eu (1,93) e dal fondo complementare nazionale (1 miliardo). Buona parte di questi fondi sono destinati all’istruzione di ogni ordine e grado, mentre alla ricerca giungono 12,92 miliardi di euro, 11,44 dei quali provenienti da Next Generation Eu. Sostanzialmente si tratta della stessa cifra che era prevista dalla prima bozza del PNRR preparata dal precedente governo Conte-2 e pubblicata a gennaio 2021. In quella bozza era citata la proposta Amaldi-Maiani, che prevedeva un aumento dei fondi per la ricerca pubblica nella misura di 15 miliardi in 5 anni, per far sì che l’Italia, che attualmente spende lo 0,5% del proprio Pil in ricerca pubblica (9 miliardi all’anno, di cui 2/3 alla ricerca di base, 6 miliardi, e 1/3 alla ricerca applicata, 3 miliardi), raggiunga i livelli di finanziamento della Francia (lo 0,75% del Pil). La proposta Amaldi-Maiani nasceva da un saggio di Ugo Amaldi pubblicato a luglio 2020 sul volumetto “Pandemia e resilienza” curato dal think tank “Consulta scientifica del cortile dei gentili”. Originariamente la proposta era di far raggiungere all’Italia i livelli di finanziamento alla ricerca pubblica della Germania, che investe l’1% del proprio Pil. A ottobre 2020 Luciano Maiani (Roma, La Sapienza) e Cinzia Caporale (CNR) partendo dai dati di Amaldi hanno sensibilmente ridimensionato la proposta puntando a raggiungere i livelli di finanziamento della Francia. Oggi ogni riferimento a questa proposta è stato tolto dal testo del PNRR approvato a fine aprile dal Parlamento italiano e spedito a Bruxelles all’attenzione della Commissione Europea.

Mi faccia dire che giustamente il termine «Piano Amaldi» è scomparso dal testo risponde Ugo Amaldi, fisico che ha lavorato al Cern e all’università di Milano e presidente della fondazione Tera per adroterapia oncologica. *Per quanto riguarda la ricerca, il documento del governo Draghi è praticamente identico a quello che era stato approvato il 12 gennaio dal governo Conte 2. C’era il mio nome, c’era il nome del Piano Amaldi, ma in realtà i fondi reali erano molto meno di quelli che avevamo chiesto. E quindi bene ha fatto chi ha scritto il nuovo testo a togliere ogni riferimento al Piano Amaldi, che non viene per niente preso in considerazione, ora, né allora. Per fare questo aumento dallo 0,5% allo 0,75%, ovvero 15 miliardi in 5 anni, ogni anno bisognerebbe aggiungere 1 miliardo, partendo dai 9 che annualmente vengono già investiti. Quindi 10 miliardi nel 2021, 11 nel 2022, 12 nel 2023 e così via fino a 14 miliardi nel 2025. Posso invece dire che nel Piano presentato prima dal governo Conte 2 e poi sostanzialmente identico per quanto riguarda la ricerca dal governo Draghi c’è meno del 40% di questi fondi, circa 5 miliardi.* La gran parte degli 11,4 miliardi di euro della voce “Dalla ricerca all’impresa” infatti è destinata al trasferimento tecnologico.

Dal titolo del capitolo M4C2 “Dalla ricerca all’impresa” si capisce che l’intervento finanziario ha un indirizzo ben preciso, che è quello di favorire il trasferimento tecnologico e l’innovazione, a scapito magari della ricerca di base. Del resto uno dei principali punti deboli dell’economia italiana è proprio quello di avere una produzione di beni e servizi a basso contenuto tecnologico e di conoscenza rispetto ad altri Paesi europei e non solo. Nel PNRR sono previsti finanziamenti a strutture che consentano il partenariato tra

Tab. 1. Voci di spesa della seconda componente della quarta missione (M4C2), “Dalla ricerca all’impresa” del PNRR approvato a fine aprile.

QUADRO DELLE RISORSE COMPLESSIVO (MILIARDI DI EURO)	
M4. ISTRUZIONE E RICERCA	
M4C2 - DALLA RICERCA ALL'IMPRESA	
Ambiti di intervento/Misure	Totale
1. Rafforzamento della ricerca e diffusione di modelli innovativi per la ricerca di base e applicata, condotta in sinergia tra università e imprese	6,91
Investimento 1.1: Fondo per il Programma Nazionale Ricerca (PNR) e progetti di Ricerca di Significativo Interesse Nazionale (PRIN)	1,80
Investimento 1.2: Finanziamento di progetti presentati da giovani ricercatori	0,60
Investimento 1.3: Partenariati allargati estesi a Università, centri di ricerca, imprese e finanziamento progetti di ricerca di base	1,61
Investimento 1.4: Potenziamento strutture di ricerca e creazione di campioni nazionali di R&S su Key Enabling Technologies	1,60
Investimento 1.5: Creazione e rafforzamento di "ecosistemi dell'innovazione", costruzione di "leader territoriali di R&S"	1,30
2. Sostegno ai processi di innovazione e trasferimento tecnologico	2,05
Investimento 2.1: IPCEI	1,50
Investimento 2.2: Partnership - Horizon Europe	0,20
Investimento 2.3: Potenziamento ed estensione tematica e territoriale dei centri di trasferimento tecnologico per segmenti di industria	0,35
3. Potenziamento delle condizioni di supporto alla ricerca e all'innovazione	2,48
Investimento 3.1: Fondo per la realizzazione di un sistema integrato di infrastrutture di ricerca e innovazione	1,58
Investimento 3.2: Finanziamento di start-up	0,30
Investimento 3.3: Introduzione di dottorati innovativi che rispondono ai fabbisogni di innovazione delle imprese e promuovono l'assunzione dei ricercatori dalle imprese	0,60
Totale Componente	11,44

università e soggetti privati (1,61 miliardi di euro), a centri di ricerca dedicati a tecnologie considerate strategiche come ad esempio la computazione quantistica (*key enabling technologies* – 1,60 miliardi) e a ecosistemi per l’innovazione (1,3 miliardi di euro). Il PNRR riesce a indirizzare l’Italia sulla strada di una maggiore specializzazione produttiva e di un maggior contenuto di conoscenza e di tasso tecnologico nella produzione di beni e servizi?

In Italia – spiega Amaldi – esportiamo molto, anche più della Francia, ma soltanto il 7% della nostra produzione ha un alto contenuto tecnologico. In Germania è il 30%. Lo stesso si può dire per il numero di brevetti: l’Italia deposita 1/5 dei brevetti della Germania e 1/10 degli Stati Uniti. Siamo molto indietro nel campo dell’innovazione.

Quando si parla di ricerca e sviluppo infatti si parla in realtà di tre cose. La ricerca di base è quella che in inglese viene chiamata *curiosity driven*, quella che si

faceva ad esempio quando si studiava l’RNA messaggero che poi ha portato ai vaccini contro Covid-19. C’è poi la ricerca applicata, non più puramente esplorativa ma rivolta a un ambito o a un problema specifico, come ad esempio lo studio di nuovi materiali ecosostenibili. E infine lo sviluppo sperimentale, che viene principalmente fatto dalle industrie e dalle imprese, che trasformano la ricerca di base e applicata, spesso fatte in ambito pubblico, in nuovi prodotti.

Quello che manca in Italia – continua Amaldi – è la transizione dalla ricerca pubblica (e a volte anche privata e applicata) allo sviluppo sperimentale e ai prodotti finali. Il Piano tenta di affrontare il problema mettendo a disposizione molti mezzi, questo è vero. Tuttavia, e questo è un punto che vorrei sottolineare, nelle altre missioni del PNRR ci sono già molti fondi per la ricerca applicata e per lo sviluppo sperimentale, in particolare per quanto riguarda la digitalizzazione e la transizione ecologica. Il trasferimento

di conoscenza va bene, ma è già fatto in altri campi del PNRR. Proprio per questo, secondo me, tutti quei pochi soldi che sono arrivati al capitolo “ricerca” si sarebbero dovuti dedicare alla ricerca pubblica.

Il presidente del consiglio Mario Draghi, nel corso della presentazione del PNRR in Senato il 27 aprile scorso, rispondendo all'intervento della Senatrice a vita e ricercatrice Elena Cattaneo, si è detto interamente d'accordo con l'invito ad assegnare tutti i fondi su base esclusivamente competitiva (tramite bandi che selezionino in base al merito i progetti migliori) e ha rimarcato la necessità di dare “più fondi alla ricerca su base ordinaria” sottolineando che “ci si ritornerà nella prossima legge di bilancio”. Del resto il PNRR è uno strumento di intervento finanziario straordinario e non necessariamente doveva essere questa la via attraverso cui realizzare la proposta Amaldi-Maiani, che chiede invece un finanziamento strutturale, su base ordinaria per l'appunto, alla ricerca pubblica. La speranza è dunque di vedere questa proposta realizzata attraverso leggi di bilancio che assegnino da qui ai prossimi 5 anni i 15 miliardi di euro in più alla ricerca pubblica italiana.

La nostra è stata una sfida lunga, che ha sicuramente sortito un effetto. Di questo tema nessuno parlava un anno fa ricorda Amaldi. Ci si preoccupava, giustamente, di come uscire dalla pandemia, ma non si guardava a cosa sarà dell'Italia tra 10 o 20 anni. Il nostro Paese investe in ricerca pubblica 150 euro per ogni cittadino in un anno, la Francia investe 250 euro, la Germania 400 euro. Non solo: la Francia spende il 50% in più dell'Italia in ricerca pubblica, ma spende anche il 35% di più in istruzione pubblica e il 18% in più in sanità pubblica.

L'Italia tratta male la sanità, malissimo l'istruzione e ancora peggio la ricerca, sintetizza Amaldi. Mi ha fatto molto piacere sentire che il presidente Draghi

si è detto d'accordo con l'investire in modo strutturale sulla ricerca pubblica, l'abbiamo sempre detto. Certo nel PNRR si introduce una misura di sostegno per dare a ogni bambino italiano fino a 250 euro al mese, una cosa bellissima che per la prima volta viene fatta in Italia, anche se una misura ancora più ricca c'è in Francia e in Svizzera. È una cosa molto positiva, eppure questa è una spesa permanente. Si sarebbe potuto mettere sul tavolo anche il tema della spesa permanente in ricerca pubblica. Se noi non curassimo il triangolo della conoscenza che ha come base l'istruzione e come lati la ricerca e l'innovazione noi non ci svilupperemo mai come Francia e Germania, con cui ci dobbiamo confrontare, cioè non daremo mai all'Europa quel contributo che dovremmo dare per lo sviluppo futuro, perché non saremo una società della conoscenza, conclude Amaldi, richiamando un concetto che era caro a Pietro Greco. Nel PNRR il lato innovazione è ben coperto, il lato istruzione è meno coperto e la ricerca ancora peggio. L'Italia deve diventare una società giusta e della conoscenza, questo secondo me è il nostro scopo.

Note

¹ Il testo riprende l'intervista che è possibile ascoltare al link: <https://ilbolive.unipd.it/it/news/pnrr-sparisce-piano-amaldi-ricerca-si-guarda>.

FRANCESCO SUMAN

Giornalista scientifico free lance, collabora con Il Bo Live, Nature Italy, MicroMega, Il Tascabile.

Contatti:

*Il Bo Live - Ufficio Comunicazioni Università di Padova
Riviera Tito Livio 6, 35123 Padova
ilbolive@unipd.it*

LA GESTIONE DELLE RISORSE NELLE GRANDI COLLABORAZIONI SCIENTIFICHE. IL CASO CERN

Antonio Baroncelli

Riassunto

I grandi esperimenti del CERN mettono in gioco grandissime risorse economiche per la cui gestione è stato necessario creare un nuovo ruolo nel management delle grandi collaborazioni, il “Resource Coordinator”, al quale affidare la gestione tecnica e scientifica delle grandi acquisizioni. I meccanismi di queste grandi acquisizioni fatte attraverso il CERN vengono discussi e le procedure brevemente descritte.

Abstract

Large Experiments at CERN put into play very large economic resources. For this reason a new role had to be introduced in the management of these large collaborations: the “Resource Coordinator” who has the scientific and technical responsibility of large procurements. Mechanisms of these large procurements through CERN are discussed and the procedures are summarised.

Parole chiave: CERN, LHC, Grandi acquisizioni.

Keywords: CERN, LHC, Large Procurements.

Il CERN ed i grandi esperimenti

La complessità di alcune grandi collaborazioni scientifiche e la quantità delle risorse coinvolte per periodi lunghissimi richiede un'organizzazione ben strutturata che permetta e renda facile lo scambio di informazioni ed il flusso di comunicazione tra tutte le componenti dell'esperimento. Si parla di migliaia di ricercatori da decine di nazioni sparse su tutto il mondo (e tutti i fusi orari!).

I costi: costruzione LHC 4,332 MCHF, costo di Run1 (2009-2012) 1.1 BCHF, costo LS1(22 mesi) 150 MCHF.

L'organizzazione delle grandi collaborazioni LHC

In questo articolo il caso del CERN viene esaminato ed in particolare quello dell'esperimento ATLAS nel quale sono coinvolto dal momento della sua ide-

Tab. 1. Evoluzione del bilancio e del personale CERN nel corso degli anni 1990 → 2200. Per quanto riguarda il bilancio si indicano solo le spese più importanti, quelle per materiale e per personale.

Anno	Bilancio (MCHF)			Personale (Unità)
	Materiale	Personale	Totale	
2020	439	685	1,157	
2019	543	681	1260	2660
2018	546	692	1313	2667
2017	491	672	1232	2633
2016	427	647	1153	2560
2015	379	629	1083	2531
2010	380	538	936	2427
2005	850	480	1365	2374
2000	548	456	1029	2702
1990	330	431	859	3203

azione, costruzione e realizzazione. L'esperimento coinvolge circa 3000 fisici da tutto il mondo. La struttura organizzativa della collaborazione ATLAS è mostrata nella Figura 1. La situazione dell'esperimento CMS, è molto simile nella sostanza. Ci sono diversi livelli di coordinamento, e rappresentatività:

- L'ATLAS Spokesperson è il rappresentante eletto della collaborazione e coordina le attività scientifiche e di gestione della collaborazione.
- Uno politico rappresentativo di tutta la collaborazione, il *Collaboration Board* nel quale ogni istituto o istituzione della collaborazione è rappresentato. È l'organo decisionale più alto ed ultimo della collaborazione. *L'ATLAS Plenary Meeting* è concepito per assicurare il flusso di informazione verso tutta la collaborazione.
- La continuità della gestione quotidiana dell'esperimento viene garantita da un certo numero di figure operative, tutte elettive, che affiancano *l'ATLAS Spokesperson* nel governo scientifico operativo e manageriale dell'esperimento: il *Technical Coordinator* (per tutti gli aspetti tecnici dell'esperimento), *l'Upgrade Coordinator* (per il coordinamento delle nuove attività costruttive destinate a completare, aggiungere e, in alcuni casi, sostituire, nuovi rivelatori per migliorare la funzionalità dell'esperimento).
- Il *Resources Coordinator* infine si occupa della gestione delle importanti risorse umane ed economiche di tutto l'esperimento.
- L'esperimento ATLAS è composto da un insieme di rivelatori diversi con funzionalità complementari. Ogni rivelatore (o, meglio, ogni gruppo di rivelatori) è coordinato da un *Project Leader*.
- L'Executive Board infine è un organo di coordinamento nel quale sono presenti tutti i coordinatori e tutti i rappresentanti di rivelatore.

Questa struttura di gestione e coordinamento viene sostanzialmente replicata, a livello più basso, per ogni rivelatore o gruppo di rivelatori.

Gli accordi internazionali per le grandi acquisizioni

Tutti i grandi progetti costruttivi, di sviluppo e/o ammodernamento degli esperimenti del CERN sono basati su accordi internazionali che vengono sottoscritti dai rappresentanti degli enti finanziatori nazionali e dal CERN stesso. Questi accordi ("*Memorandum of Understanding*" abbreviati con *MoU*) sono preceduti da lunghissimi periodi di sviluppo, ricerca e progettazione e rappresentano la fase conclusiva e operativa di un progetto. In questi accordi vengono dettagliate, al meglio della comprensione e della conoscenza del momento, le responsabilità costruttive e una stima dei costi, quanto accurata possibile, di ogni singola parte/componente del progetto. La stima dei costi viene dettagliata in un documento formale ("*Basis of Estimate*", abbreviato come *BoE*) controllato e approvato da esperti indipendenti ed esterni al progetto in esame, che contiene la descrizione di come la stima dei costi è stata costruita. I costi, in questi grandi accordi costruttivi hanno un ruolo importante nella ripartizione iniziale delle responsabilità costruttive. Il tentativo è quello di ottimizzare la ripartizione degli impegni in funzione delle disponibilità finanziarie di una comunità, delle sue capacità costruttive, delle risorse umane e infrastrutturali sulle quali può contare. L'accordo finale, però, è basato su una metrica diversa, quella basata sui "*deliverables*". I gruppi si impegnano a fornire parti o componenti dell'esperimento e/o a fornire contributi costruttivi, i "*deliverables*" appunto. Il motivo per cui i "*Memorandum of Understanding*" non sono basati sui costi è dovuto ad un doppio motivo che

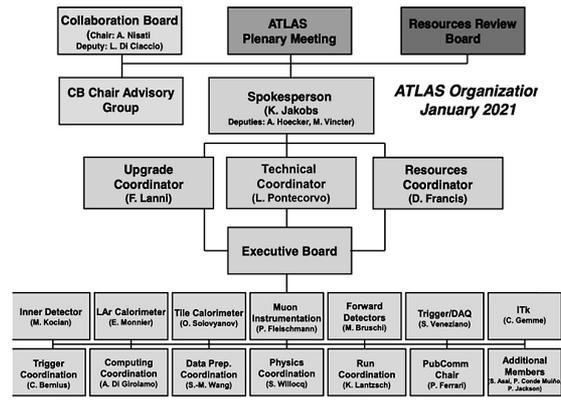
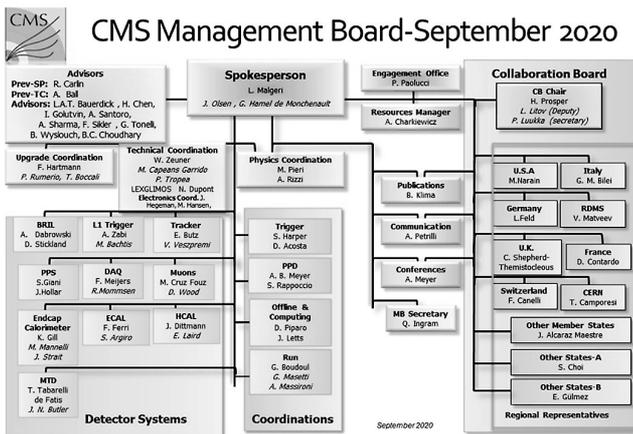


Fig. 1. Struttura delle grandi collaborazioni LHC del CERN, ATLAS e CMS.

rende la stima dei costi non del tutto garantita. Pesa innanzitutto la durata del periodo di costruzione: spesso una decina di anni nel corso dei quali molti fattori (inflazione, disponibilità di materie prime, apprezzamenti o deprezzamenti di valute rispetto al Franco Svizzero) possono avere un impatto anche significativo sulla stima iniziale dei costi. Il secondo punto è dovuto al fatto che queste iniziative costruttive sono basate su tecnologie sempre alla frontiera e spesso in via di sviluppo. La fase costruttiva include un periodo iniziale di ricerca e sviluppo di una certa tecnologia e questo ha, potenzialmente, un impatto imprevedibile sui costi che sono stimati assumendo sviluppi ancora non verificati. D'altra parte nei grandi esperimenti del CERN, nulla si trova direttamente sul mercato (“*on the shelves*”, sugli scaffali), tutto viene sviluppato in collaborazione con industrie e compagnie tecnologicamente avanzate. Alla fine del processo di R&D la produzione di massa viene fatta dall'industria ma la fase di prototipizzazione viene realizzata da fisici e ingegneri delle varie istituzioni. Non potrebbe essere altrimenti: la scala di tempi di questi grandi esperimenti è tale che se si scegliessero prodotti commerciali esistenti sul mercato questi rischierebbero di essere obsoleti al momento del completamento della fase costruttiva.

Quindi gli impegni che vengono presi non sono sui costi ma sui “*deliverables*”: le agenzie dei vari Paesi si impegnano a fornire parti di apparati e non una certa quantità di contributo economico. Gli aumenti di costi, spesso presenti, vengono assorbiti dai vari gruppi e non dall'esperimento che non ha risorse economiche autonome. La stima dei costi, comunque, include un margine di incertezza, la contingenza, tipicamente tra il 5 e il 10% del valore totale. Inoltre la stima economica di ogni singola parte di apparato deve essere basata su esperienze passate simili ed è soggetta ad uno scrutinio severissimo.

La gestione dei “*deliverables*” in queste grandi iniziative costruttive è delicatissima e copre aspetti certamente tecnici, tecnologici e scientifici ma anche politici di equilibri tra gruppi, gestione di difficoltà economiche, extra-costi. Da alcuni anni la gestione dei “*deliverables*” viene affidata, nelle collaborazioni del CERN, ad una figura operativa nuova, un fisico al quale viene affidata la responsabilità economica dell'esperimento: il “*Resources Coordinator*”. Il “*Resources Coordinator*” viene eletto dal “*Collaboration Board*” dell'esperimento (dove c'è un rappresentante per ogni Istituto) ed ha una durata di 2 anni rinnovabile con un nuovo voto a maggioranza di 2/3. Il volume dei finanziamenti è tale che il “*Resources Coordinator*” delega a sua volta parte delle responsabilità ad un collega quando esistono iniziative costruttive speci-

fiche di una parte dell'esperimento. Il caso di studio proposto in questo articolo rientra in questa casistica: nel 2019 è stato approvato dall'esperimento ATLAS del CERN (circa 3000 fisici da 50 paesi diversi) un *MoU* con il quale si decide di realizzare un aggiornamento (“*ATLAS Muon Spectrometer Phase II Upgrade*”) di alcune parti del rivelatore per un valore approssimato di circa 30 MCHF da realizzarsi nel corso di circa 6 anni. A me è stata affidata la responsabilità di “*Upgrade Resources Coordinator*” per questa realizzazione.

L’“*Upgrade Resources Coordinator*” viene proposto dal Project Leader e viene ratificato dall’“*Institute Board*” del rivelatore corrispondente, lo spettrometro a muoni in questo caso. Egli è anche membro dell’“*Upgrade Steering Group*”. Il ruolo di questa carica può essere riassunto come segue:

1. Tiene traccia dei *deliverables* forniti dagli istituti e della frazione di valore “CORE” raggiunto; verifica l'aderenza tra la parte di produzione realizzata e quanto dichiarato nel *MoU* in termini di costo e contenuto;
2. Insieme all’“*Upgrade Coordinator di ATLAS*” prepara i consuntivi finanziari per la parte di rivelatore di sua competenza, da inviare agli enti finanziatori nazionali;
3. Concorda con il “*Resource Coordinator*” di *ATLAS* modifiche alla spesa e al profilo di spesa previsto dal *MoU*;
4. Coordina gli approvvigionamenti che avvengono tramite i servizi del CERN; autorizza e firma tutti i contratti e gli ordini che avvengono tramite i servizi del CERN;
5. Aiuta i coordinatori di attività nella preparazione di acquisizioni attraverso il CERN, facendo da tramite con i servizi amministrativi per la correttezza formale dei documenti; si assicura che le regole internazionali per le gare vengano rispettate, si assicura che gli approvvigionamenti vengano preparati con debito anticipo in modo da rispettare le scadenze costruttive dell'esperimento; cura la redazione dei capitolati tecnici e scientifici con il necessario livello tecnico; segue tutte le diverse fasi delle acquisizioni al CERN (ricognizione di mercato, gare, aggiudicazione); si assicura che i disegni tecnici e le specifiche tecniche siano preparati correttamente e siano stati ufficialmente approvati;
6. Partecipa alle riunioni con tutti i rappresentanti delle agenzie finanziatrici di ATLAS quando aspetti legati allo spettrometro a muoni vengono discussi.

Le grandi acquisizioni attraverso il CERN; le procedure

Una gran parte delle acquisizioni, in particolare quelle tecnicamente complesse ed economicamente onerose avvengono attraverso i servizi amministrativi del CERN. Le procedure per gli approvvigionamenti attraverso il CERN sono infatti, generalmente molto più semplici di quelle degli stati membri ed i processi di approvazione, pur rispettando pienamente gli standard internazionali sono in genere molto più rapidi. Un'acquisizione intorno ai 500 KCHF può essere completata entro meno di tre mesi. A volte i tempi sono condizionati (e dilatati) da difficoltà tecniche nella redazione dei documenti tecnici. Gli ordini attraverso il CERN hanno l'inconveniente di essere pagati in Franchi Svizzeri e questo li rende soggetti a fluttuazioni valutarie sul mercato delle valute. Tutti i gruppi e gli istituti esterni che operano al CERN possiedono un conto ufficiale sul quale possono operare in entrata per portare valuta e in uscita per pagare ordini fatti attraverso il CERN. Tutti gli ordini fatti attraverso il CERN, relativi a parti di rivelatore indicati nel *MoU* passano attraverso conti CERN gestiti dal "*Resource Coordinator*" di ATLAS. Gli ordini relativi allo spettrometro a muoni vengono ulteriormente autorizzati da me.

Gli ordini al di sotto di 10.000 CHF non vengono considerati in questo articolo, le procedure sono molto rapide, semplificate e senza particolari vincoli. Sono generalmente sufficienti tre offerte (addirittura una al di sotto di 5000 CHF) per poter emettere un ordine. Tutto avviene attraverso rete, nulla di cartaceo viene scambiato né all'interno del CERN né con la ditta stessa. Il diagramma di flusso che descrive le procedure per gli acquisti al CERN superiori a 10 KCHF, è schematizzato nella Figura 2. Esistono due soglie che discriminano i diversi percorsi: 200 e 750 KCHF. Nella tabella 2 vengono indicate in maniera sommaria le diverse procedure per le tre fasce maggiori di costo: <200 KCHF, tra 200 KCHF e 750 KCHF, sopra 750 KCHF. Sono due le fasi in cui sono organizzati gli acquisti attraverso il CERN che vengono attivate a seconda della stima del costo dell'approvvigionamento:

- **Market Survey**, necessario per tutti gli acquisti superiori a 200 KCHF. Consiste in una ricognizione di mercato attraverso la quale vengono identificate le compagnie in grado di eseguire, produrre il prodotto richiesto. Questa fase è basata su due documenti tecnici preparati da fisici esperti e coordinati da me: la *Technical Description* e il *Qualification Questionnaire*. Il primo documento descrive sommariamente l'oggetto che si vuole approvvigionare, le quantità previste e la scala di tempi entro i quali l'opera va realizzata. Il secondo, preparato dagli interessati all'acquisto in base alle caratteristiche dell'acquisto stesso, consiste in un questionario nel quale la ditta contattata descrive l'esperienza costruttiva di cui gode, le infrastrutture.
- **Invitation to Tender**, la vera gara. La gara viene aperta alle sole ditte che sono state selezionate nella fase precedente, il "*Market Survey*". Le ditte escluse non hanno modo di opporsi all'esclusione che viene ampiamente motivata. Va comunque sottolineato che il "*Qualification Questionnaire*" è redatto in modo da non offrire alcuna ambiguità: si richiedono risposte a domande semplicissime e totalmente obiettive (ad esempio: "*la ditta x ha mai realizzato piani di un certo materiale con dimensioni ... con precisioni...*") A queste affermazioni si chiede di rispondere con referenze.

La fase dell'*"Invitation to Tender"* è basata su due documenti tecnici, anche questi coordinati da me: la "*Technical Specification*" e la "*Tender Form*". Nella "*Technical Specification*", diversamente dalla "*Technical Description*", viene presentata una descrizione esatta del prodotto che deve essere acquistato con le modalità di produzione, specifiche tecniche, tempi di produzione ed ogni altra indicazione che si ritenga necessaria. Va osservato che questo documento è basato su specifiche tecniche formalmente approvate da un comitato di esperti indipendenti i quali, dopo un attento esame della documentazione prodotta, approvano formalmente le specifiche contenute nella "*Technical Specification*". La riunione nel corso della quale

Tab. 2. Schema semplificato per le procedure di acquisto al CERN in funzione delle diverse fasce di costi. ARC = "*Atlas Resource Coordinator*", URC = "*Upgrade Resource Coordinator*", FC = "*CERN Finance Committee*".

Soglia (KCHF)	Market Survey	Invitation to Tender	Minimo # Compagnie coinvolte	Approvazione
Valore < 200		Yes	5	ARC, URC
200 < Valore < 750	Yes	Yes	10	ARC, URC
Valore > 750	Yes	Yes	15	ARC, URC, FC

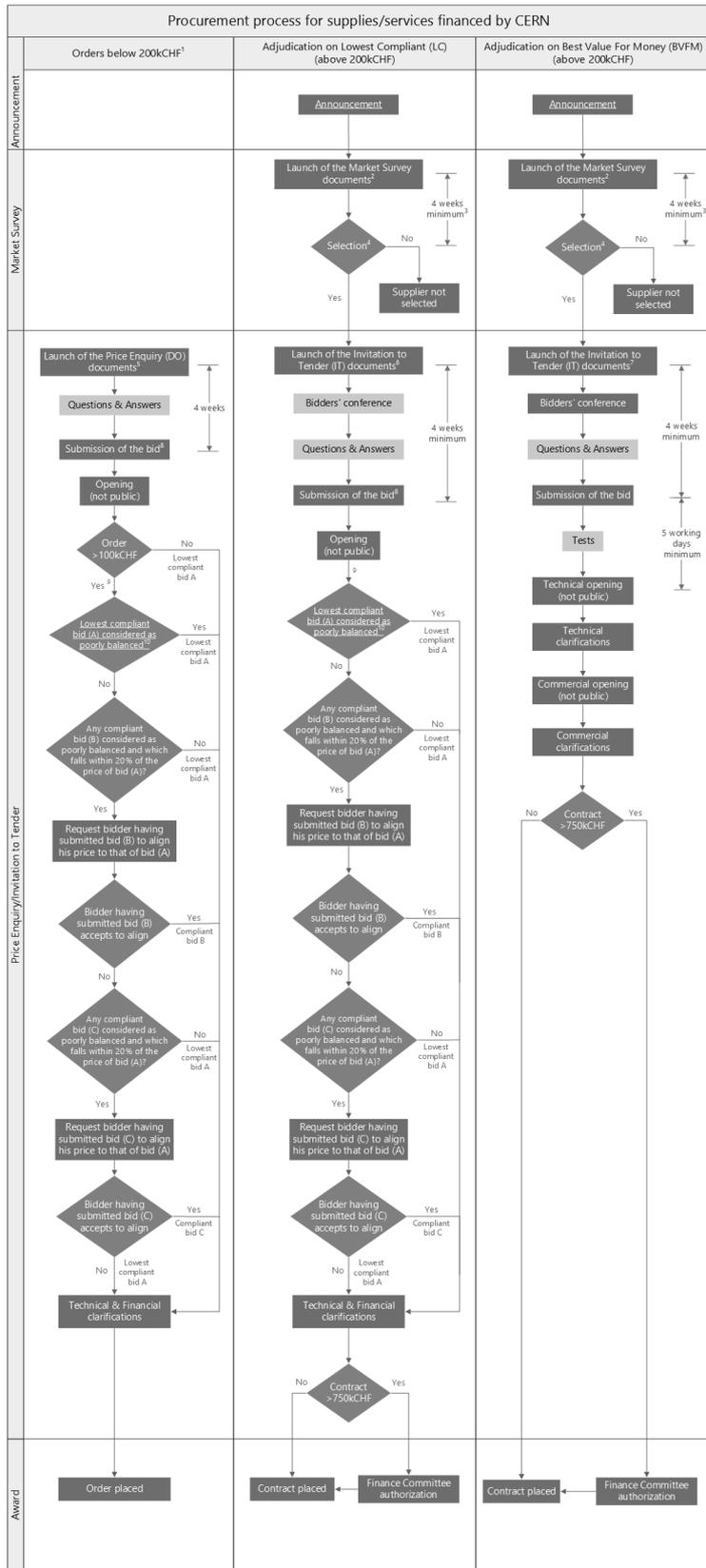


Fig. 2. Il diagramma di flusso delle grandi acquisizioni al CERN (superiori a 10,000 CHF).

avviene ha il nome di “*Final Design Review, FDR*”. Nessun acquisto viene approvato prima di questa riunione formale.

Il ruolo dei fisici nelle procedure di acquisizione

Nelle pagine precedenti sono state descritte alcune delle procedure seguite negli acquisti, economicamente molto importanti, al CERN. Il contributo ed il coinvolgimento del “*Procurement Office*” del CERN è determinante. I funzionari amministrativi del CERN, spesso usciti da grandi scuole di amministrazione, sempre con una formazione altissima, verificano la correttezza formale, la completezza, la chiarezza dei documenti di specifica, suggeriscono strategie di acquisto basate sulla loro esperienza. Aspetti tecnici sono assolutamente esclusi dalle loro considerazioni e osservazioni.

I beni che possono essere trovati sul mercato sono anche disponibili attraverso il magazzino (virtuale) del CERN. I prezzi sono stati negoziati con i fornitori, molti dei prodotti di maggior consumo sono disponibili immediatamente, gli altri vengono ordinati dal magazzino stesso. Per ogni tipologia di bene viene proposta unicamente la scelta meno onerosa. Il ricorso al magazzino del CERN cancella (quasi completamente) ogni procedura formale: acquistare un bene proposto attraverso il magazzino del CERN richiede la compilazione di un *form* senza limiti di costo.

Al di là degli aspetti formali, gestiti dal servizio di “*Procurement Office*” del CERN, per quanto interes-

santi, va sottolineato il ruolo dei fisici nella gestione di quelle grandi acquisizioni di cui abbiamo parlato in questo articolo. Va fatta una considerazione preliminare fondamentale: la quasi totalità degli ordini importanti riguardano beni che ancora non esistono e che vanno sviluppati in collaborazione con le industrie tecnologicamente avanzate. Queste collaborazioni tra ricerca di base e industria non preludono a futuri contratti. Le compagnie fanno investimenti, acquisiscono nuove competenze, sono in grado di proporre nuovi prodotti sul mercato. Fino a parecchi decenni fa, quando gli esperimenti erano ancora relativamente piccoli, tutte le parti di un rivelatore necessarie per la costruzione di un esperimento, venivano disegnate e realizzate all’interno degli istituti di ricerca: tutti i dipartimenti di fisica avevano (ed ancora hanno) officine meccaniche ed elettroniche di ottimo livello (e tecnici esperti) capaci di realizzare costruzioni meccaniche ed elettroniche che soddisfacessero le necessità costruttive dei ‘piccoli’ esperimenti del tempo.

Con la disponibilità di macchine acceleratrici sempre più potenti e la conseguente necessità di realizzare apparati sempre più grandi, complessi e caratterizzati da un gran numero di moduli molto sofisticati ma uguali tra loro, la strategia di costruzione è cambiata: ora in casa si sviluppano, e realizzano, quasi soltanto prototipi, spesso in collaborazione con ditte tecnologicamente avanzate, mentre la grande produzione di moduli uguali viene affidata alle grandi industrie.

I grandi esperimenti di LHC del CERN sono un gigantesco insieme di rivelatori diversi che usano tec-

Longer term LHC schedule

In 2019 the decision was taken to extend Run 3 by a year and for LS3 to start in 2025. Impact of coronavirus pandemic reflected in the extended hardware commissioning and magnet training foreseen for 2021.

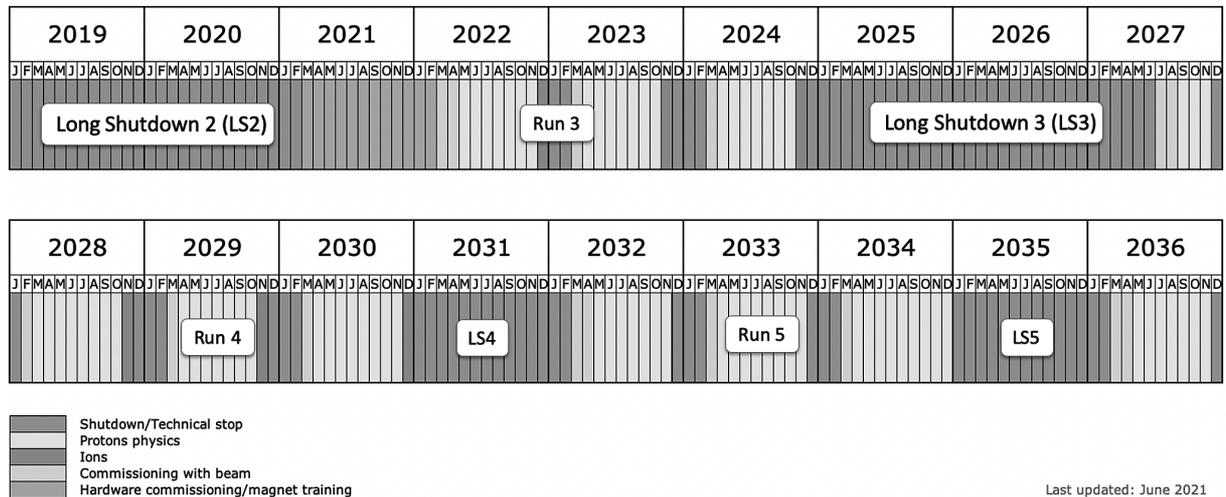


Fig. 3. Piano degli interventi programmati sull’acceleratore LHC e sugli esperimenti del CERN dal 2019 al 2036.

nologie diverse tra loro. Nessun fisico può considerarsi un esperto di tutte le tecnologie usate, nemmeno il ‘Resource Coordinator’. Il ruolo chiave dei fisici che ricoprono questo ruolo, quindi, è quello soprattutto di coordinare il lavoro necessario per la definizione di aspetti tecnici e tecnologici da usare nella redazione di quello che in Italia chiameremmo un “capitolato”. Oltre a questo molto importante è anche porre la massima attenzione alla scala dei tempi di una grande produzione. Gli esperimenti di LHC sono praticamente inaccessibili: sono così compatti e densi di tecnologia che al di là delle poche parti sistemate nelle zone esterne dell’apparato tutto il resto richiede un intervento di smontaggio (“apertura” come diciamo noi) che richiede mesi di lavoro solo per arrivare al rivelatore sul quale si vuole operare. Per questo motivo i periodi destinati agli interventi sui rivelatori (i “*Long Shutdowns*”) vengono programmati con molti anni di anticipo e durano essi stessi anni. Nella figura sotto è mostrata la pianificazione del funzionamento di LHC fino al 2036. Il prossimo periodo programmato di fermo (il “*Long Shutdown 3*”) inizierà nel 2025 e durerà fino a metà del 2026. L’ultimo intervento programmato, ad oggi, è previsto nel 2035 (il “*Long Shutdown 5*”).

Questa programmazione è quasi immutabile, viene ridiscussa solo in caso di eventi gravissimi ed esterni al CERN. Così è stato per la pandemia di Covid che ha portato allo slittamento di un anno. I ritardi degli esperimenti praticamente non contano. Una manciata di giorni di ritardo si riesce ad ottenere, non di più. A questo mi riferivo quando parlavo della scala dei tempi. Bisogna capire quanto una nuova tecnologia richiede per essere sufficientemente matura per essere installata in un esperimento, quanto lunghi sono i tempi richiesti da un’industria per adattare i propri schemi di produzione e le sue infrastrutture alla lavorazione richiesta, quanto lunghi sono i tempi per la produzione stessa. Tutto questo sta nelle mani del “*Resource Coordinator*”. Non essendo un “tuttologo” deve rivolgersi ad esperti di vari gruppi per le sue valutazioni. Ma sta a lui la programmazione di queste acquisizioni e lo studio di quanto siano compatibili con la scala

dei tempi delle finestre di intervento disponibili. La scelta di una tecnologia viene formalizzata attraverso l’approvazione da parte di un gruppo di esperti che la ratificano: la “*Final Design Review*”. Nessun acquisto di grandi dimensioni può essere fatto senza questa ratifica. Finalmente, una volta partito il processo di produzione, è lui a controllare (in realtà delegare ad esperti) la qualità del prodotto e autorizzare il pagamento delle fatture dopo opportuni controlli di qualità che riguardano l’intera produzione. Tutto quello che non rispetta le specifiche precedentemente definite viene rigettato (le strettissime regole del CERN non offrono quasi alcun margine di ‘interpretazione’ alle industrie). Per questo motivo i casi di contestazione sono praticamente inesistenti e, nel caso, verrebbero gestiti da tribunali svizzeri.

Con questa nota ho cercato di delineare un nuovo ruolo nelle grandi collaborazioni scientifiche. Le persone chiamate a ricoprire questa responsabilità devono avere la maturità scientifica e la sensibilità tecnica per guidare le scelte di grandi comunità. Deve saper ascoltare, saper parlare con le persone, essere autorevole.

Io sto coprendo questo ruolo da un paio di anni e penso di continuare per qualche altro ancora. Se sarò stato all’altezza lo saprò alla fine. Ma ce la sto mettendo tutta.

ANTONIO BARONCELLI

Laureato in fisica negli anni '70 ha lavorato da sempre al CERN di Ginevra partecipando a diverse generazioni di esperimenti. Si è occupato di analisi di fisica (un piccolo contributo alla scoperta del Bosone di Higgs), di aspetti costruttivi ed ultimamente ha ricoperto ruoli manageriali. Attualmente è membro della collaborazione ATLAS del CERN ed è “Visiting Professor” della terza Università scientifica più grande della Cina: “University of Science and Technology of China, USTC” dove tiene, da tre anni, un corso di fisica delle particelle elementari.

Contatti:

Toni.Baroncelli@cern.ch

MARTE LA NUOVA FRONTIERA DELL'ESPLORAZIONE SPAZIALE INTERNAZIONALE

Guido Saccone, Gianfranco Morani

Riassunto

Il pianeta Marte ha suscitato la curiosità e l'interesse scientifico dell'umanità, perlomeno sin dagli albori dell'astronomia moderna.

Il 2021 è un anno particolarmente significativo nella storia dell'esplorazione spaziale di Marte. Infatti, nel febbraio di quest'anno ben tre missioni hanno raggiunto l'orbita del pianeta rosso: gli Stati Uniti d'America, che hanno confermato le loro consolidate capacità tecnologiche inviando con successo nella missione Mars 2020 una sonda costituita da orbiter, lander, dal rover Perseverance e dal drone Ingenuity, gli Emirati Arabi Uniti, che per il momento si sono limitati a mandare un orbiter, dotato però di strumentazioni scientifiche all'avanguardia, e soprattutto la Cina, la nuova superpotenza economica e tecnologica rivale dell'America. Il gigante asiatico in una sola missione, Tianwen-1, ha "bruciato" tutte le tappe raggiungendo con successo l'orbita di Marte e successivamente inviando al suolo il rover Zhurong, più piccolo di Perseverance, ma non meno sofisticato.

L'esistenza di tracce di vita anche microbiologica presenti o passate, la mappatura completa dei giacimenti di ghiaccio e la possibile presenza di acqua liquida nel sottosuolo, la maggiore comprensione della tenue atmosfera marziana, una più dettagliata analisi del complesso e ostile ambiente del pianeta rosso, caratterizzato da temperature gelide, pressioni bassissime, bombardato da micidiali radiazioni cosmiche e solari, sottoposto a continui impatti meteoritici, sconvolto da fenomeni atmosferici di scala globale come le gigantesche tempeste di sabbia rappresentano le enormi sfide a cui ricercatori e scienziati cercano instancabilmente di trovare valide risposte con queste missioni.

Abstract

The planet Mars has aroused the curiosity and scientific interest of humanity, at least since the dawn of modern astronomy. 2021 is a significant year in the history of Mars space exploration. In fact, in the February, three missions reached the orbit of the red planet: the United States of America, which confirmed their consolidated capabilities by successfully sending a probe, consisting of orbiters, landers, the Perseverance rover and the Ingenuity drone with the Mars 2020 mission, the United Arab Emirates, which, for the moment, sent only an orbiter, but equipped with cutting-edge scientific instruments, and above all the China, the new America's economic and technological superpower rival. The Asian giant in a single mission, the Tianwen-1, has successfully completed all the stages reaching the orbit of Mars and subsequently landing on its surface the Zhurong rover, smaller than Perseverance, but no less sophisticated.

The existence of present or past traces of microbiological life, the complete mapping of the ice deposits and the possible presence of liquid water in the interior, the greater understanding of the tenuous Martian atmosphere, a more detailed analysis of the complex and hostile environment of the red planet, characterized by freezing temperatures, very low pressures, bombarded by deadly cosmic and solar radiation, subjected to continuous meteoritic impacts, distressed by atmospheric phenomena of global scale such as planetary sandstorms represent some of the complex challenges that researchers and scientists are tirelessly trying to win with these missions.

Parole chiave: Marte, Astronautica, Esplorazione del sistema solare.

Keywords: Mars, Astronautics, Solar System Exploration.

Marte è il quarto pianeta del Sistema Solare in ordine di distanza ed è il primo esterno all'orbita dalla Terra. Il suo nome deriva dall'antico dio romano della guerra, proprio perché, osservato in cielo, specialmente in condizioni di opposizione rispetto al Sole e quindi di massima visibilità, appare come un disco di colore rosso.

A tutt'oggi è un pianeta roccioso, ma completamente arido ed estremamente freddo, bombardato da

radiazioni cosmiche e raggi ultravioletti letali per le forme di vita a noi conosciute e soggetto a frequenti impatti micro-meteoritici.

Ciò nonostante, al di fuori, dell'orbita lunare, è probabilmente il corpo celeste più accessibile per l'umanità ed è quello che presenta le condizioni ambientali meno ostili per una sua futura, anche se alquanto impegnativa, colonizzazione umana. Infatti, se si esclude ovviamente la Terra, gli altri due pia-

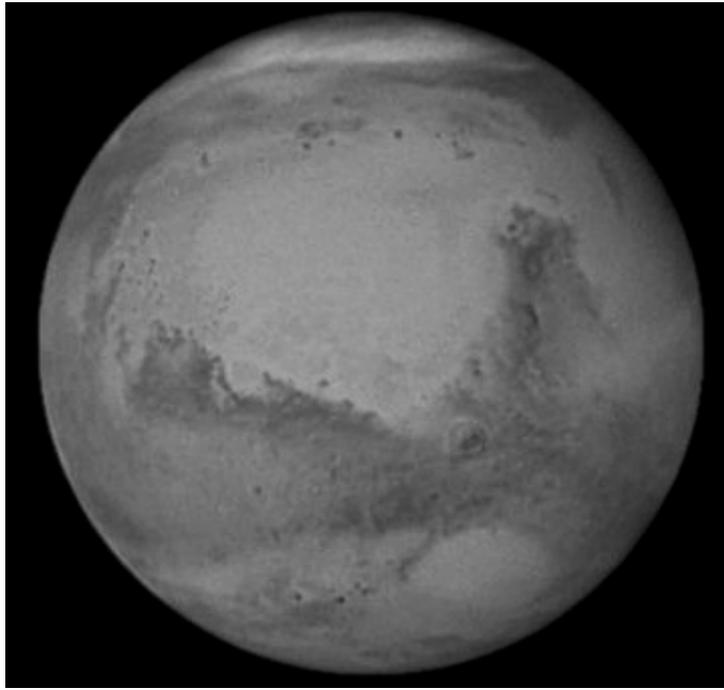


Fig. 1. Fotografia del pianeta Marte catturata dal telescopio spaziale Hubble.

neti rocciosi del Sistema Solare, ovvero Mercurio e Venere non sono neanche lontanamente considerabili per una missione con un equipaggio di astronauti. Su Mercurio di giorno le temperature sono altissime a causa della sua vicinanza al Sole, mentre su Venere nel corso di miliardi di anni trascorsi dalla sua formazione si è generato un mostruoso effetto serra che ha causato non solo il raggiungimento di temperature al suolo intorno ai 490 °C, ma anche pressioni 90 volte superiori a quella terrestre, esercitate da un'atmosfera tossica, formata in gran parte da anidride carbonica e acido solforico.

Marte, invece, ha seguito un destino diverso e per certi versi antitetico rispetto a Venere. Essendo, molto più piccolo e leggero sia della Terra che di Venere stessa, il suo ridotto campo gravitazionale non è riuscito a trattenere se non in piccolissima quantità la CO₂ sprigionata dalle eruzioni vulcaniche. L'anidride carbonica, come oramai abbiamo imparato fin troppo bene e a nostre spese, è un potente *gas serra*, nel senso che intrappola in modo molto efficiente la radiazione infrarossa proveniente dal Sole causando su scala globale un riscaldamento dell'atmosfera e della temperatura superficiale del pianeta. Mentre sulla Terra di oggi l'effetto serra è un processo deleterio e fortemente indesiderato, perché è stato stimato che perfino l'innalzamento di un solo grado centigrado della temperatura media globale potrebbe causare sconvolgimenti climatici devastanti, su Marte si è

verificato il fenomeno opposto. Infatti, la quasi totale assenza di atmosfera (la pressione su Marte è pari a circa lo 0.6% di quella terrestre) e la maggiore lontananza dal Sole hanno determinato il suo completo congelamento con una temperatura media di circa -63 °C. Inoltre, Marte a paragone con la Terra, proprio a causa del maggior raffreddamento del suo nucleo centrale, non presenta un campo magnetico apprezzabile, che invece sul nostro pianeta è generato dai moti convettivi della massa fluida di ferro e nichel che forma con ogni probabilità l'interno della Terra. Per questo motivo, il Pianeta rosso è fatalmente esposto all'azione letale per le forme di vita basate sul carbonio sia dei raggi cosmici altamente energetici provenienti dallo spazio profondo, sia delle radiazioni ultraviolette e del vento solare emesso dalla nostra stella, che invece sulla Terra sono in gran parte deviati e respinti proprio dal campo magnetico naturale. Infine, la tenue atmosfera marziana non offre una protezione adeguata contro gli impatti meteoritici, potenzialmente pericolosi a causa della notevole vicinanza della fascia degli asteroidi.

L'acqua, la sostanza per noi più vitale e importante, su Marte può esistere solo allo stato solido nelle calotte polari e probabilmente in depositi di ghiaccio sotterranei, oppure in forma di vapore acqueo nella rarefatta atmosfera marziana, invece le condizioni di temperatura e pressione al suolo sono tali da impedire la formazione stabile in fase liquida.

Nonostante, questo *cocktail* di condizioni chimico-fisiche estremamente avverse alla vita, sono numerosi i motivi che hanno spinto e continuano a motivare l'umanità a esplorare questo affascinante pianeta. Innanzitutto, Marte mostra alcune interessanti analogie astronomiche con il pianeta Terra. Infatti, impiega 24 ore e 37 minuti, poco più di un giorno terrestre, per completare un giro intorno al proprio asse di rotazione, che è inclinato rispetto al piano dell'orbita circumsolare di 24.5°, un valore molto simile a quello della Terra, pari a circa 23°. Per effetto di questo particolare orientamento, anche Marte presenta un ciclo stagionale, sebbene molto più lungo di quello terrestre perché il suo periodo di rivoluzione intorno al Sole dura 687 giorni, data la maggiore distanza dalla nostra stella.

Inoltre, numerosi indizi sembrano indicare in modo sempre più convincente che in un lontano passato le condizioni climatiche e ambientali su Marte dovessero essere molto diverse da quelle attuali. Quasi sicuramente dovevano esistere corsi d'acqua liquida in forma di fiumi, laghi e addirittura bacini oceanici. Ciò è confermato, innanzitutto, dai numerosi segni, scavati sul suolo marziano del passaggio di consistenti correnti fluide, ma che a rigore potrebbero essere stati impressi anche da fiumi di lava vulcanica. Tuttavia, l'individuazione di rocce e minerali che chimicamente si possono formare solo per interazione con acqua liquida, primo tra tutti l'idrossido di ferro Fe_3O_4 , più conosciuto sulla Terra come ruggine e responsabile in gran parte del colore inconfondibile del pianeta rosso sembrano indicare, al di là di ogni ragionevole dubbio, che in passato pressione atmosferica e temperature su Marte dovevano essere più alte, al punto da rendere fisicamente possibili le precipitazioni di masse d'acqua liquida, tali da scavare il suolo del Pianeta rosso e formare canyon grandiosi come la *Valles Marineris*. Molti scienziati sono anche persuasi che in quell'epoca del remoto passato di Marte si siano spontaneamente instaurate condizioni adatte alla nascita e allo sviluppo di forme di vita uni o anche pluricellulari secondo meccanismi biochimici e biologici simili o anche profondamente diversi rispetto a quelli avvenuti sulla Terra. Le implicazioni scientifiche, tecnologiche e perfino filosofiche di una simile scoperta sarebbero probabilmente di vastissima portata.

Marte ha destato l'attenzione e la curiosità degli uomini da tempo immemore, ma solo nel 1608 con l'invenzione del telescopio ad opera dell'ottico olandese Hans Lippershey e il suo perfezionamento tecnico realizzato dal padre della scienza moderna l'italiano Galileo Galilei è stato possibile iniziare a studiarne più approfonditamente la superficie. Uno dei primi astronomi che a Brera in provincia di Milano

durante la grande opposizione del 1877 in cui Marte era in posizione speculare rispetto al Sole e alla minima distanza dalla Terra trascorse al telescopio innumerevoli notti lunghe, fredde e frustanti nell'attesa dei pochi momenti di eccezionali condizioni di visibilità durante i quali la traballante immagine del pianeta rosso, rimanendo temporaneamente immobile e stabile, permetteva la visione chiara dei dettagli della sua superficie fu l'italiano Giovanni Virginio Schiaparelli. Il quadro che emerse da decenni di osservazioni telescopiche rappresentava il pianeta quale una sfera di colore rosso-arancio solcata da tratti scuri. La struttura complessiva di questi tratti rimaneva piuttosto stabile nel corso delle varie osservazioni cosicché fu loro attribuito un nome e identificata un'area sulle prime rudimentali mappe del pianeta rosso. Questi pionieri della planetologia, pur essendo estremamente meticolosi e precisi, tracciarono alcune sottili linee per collegare le macchie scure che avevano notato durante le loro numerose osservazioni e fu poi un altro italiano il Padre Pietro Angelo Secchi che nel 1869 attribuì a quei solchi e linee l'infelice nome di *canali*. Questo termine fu tradotto in inglese in modo non appropriato come *canals*, che indica letteralmente i canali artificiali e non come *channels*, che invece denota quelli naturali. Questo grossolano errore linguistico contribuì alla nascita di un mito che perdurò a lungo tenacemente, secondo il quale forme di vita senzienti avrebbero costruito una titanica rete di condotti idraulici per trasportare l'acqua dalle calotte polari alle più calde e aride regioni equatoriali. Al punto che l'astronomo statunitense e direttore dell'osservatorio di Flagstaff in Arizona, Percival Lowell, autore tra l'altro del fantasioso libro *Mars as the Abode of Life* affermò, con tutta serietà, che “*se non fosse artificiale il sistema di irrigazione non mostrerebbe configurazioni matematiche così meravigliose*” [1]. Questa ingenua leggenda aleggiò come una funesta maledizione sullo studio di Marte per lungo tempo. Infatti, si accesero interminabili e infruttuose dispute tra i sostenitori della reale esistenza dei canali, incoraggiati dalle suggestioni del romanticismo dell'età vittoriana, contrapposti agli astronomi che invece li giudicavano semplici illusioni ottiche indotte dalla tendenza innata della mente umana a congiungere con linee rette oggetti osservati al limite del campo di visibilità. L'onda emotiva suscitata da queste congetture fu poi abilmente cavalcata dallo scrittore Edgar Rice Burroughs, già noto al vasto pubblico per le avventure di Tarzan, che trasformò i presunti canali di Marte nella scenografia ideale delle peripezie di John Carter, eroe di in una serie di autentici libri di fantascienza, costruito sulla falsariga dei protagonisti dei romanzi del XIX secolo, che vagava per i deserti del pianeta

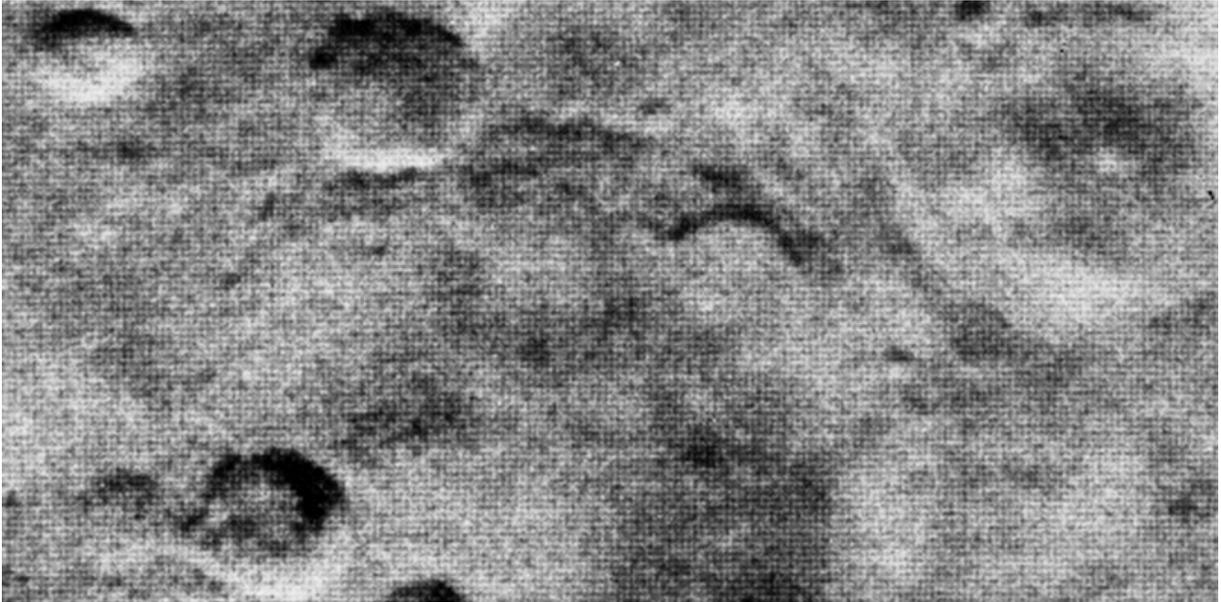


Fig. 2. Fotogramma della superficie di Marte scattato dalla sonda Mariner 4 nel 1965.

rosso salvando leggiadre fanciulle in pericolo e combattendo terribili mostri malvagi [2].

È stato necessario aspettare il 14 luglio del 1965, con la ricezione dei 21 fotogrammi della superficie di Marte, scattati a distanza ravvicinata, in bianco e nero e a bassa risoluzione dalla primitiva fotocamera di bordo della sonda spaziale della NASA Mariner 4 e inviate a Terra alla velocità di trasmissione di soli 8.3 bit per secondo, per dimostrare che la suggestiva e pittoresca visione di Burroughs sia solo un audace frutto della fantasia letteraria, in quanto le macchie scure non sono altro che regioni del pianeta dotate, in confronto alle zone circostanti, di una più elevata densità di sottili striature del suolo, ognuna larga solo pochi chilometri.

Probabilmente sono stati proprio i successi dell'era spaziale nella seconda metà del XX secolo, dal lancio da parte del razzo R-7 dell'U.R.S.S. del primo satellite artificiale terrestre, il 4 ottobre del 1957, lo Sputnik 1, includendo il primo volo umano orbitale da parte del cosmonauta sovietico Yuri Gagarin, il 12 aprile del 1961 fino ad arrivare alla celeberrima missione statunitense Apollo 11, in cui il 20 luglio del 1969 l'astronauta della NASA Neil Armstrong per la prima volta nella storia dell'intera umanità mise piede sul suolo lunare, che hanno riscattato il prestigio fino ad allora un po' offuscato della planetologia. Le è stato così restituito il ruolo centrale che giustamente ricopre come fondamentale branca dell'astronomia ed è stata inaugurata una nuova e fertile stagione di interesse, questa volta schiettamente scientifico e tecnologico verso

l'esplorazione e in un futuro probabilmente prossimo di colonizzazione robotica e umana del pianeta rosso.

Il cammino verso Marte inizia nell'ottobre del 1960 allorché l'U.R.S.S. tentò segretamente e inutilmente per due volte di lanciare un satellite verso Marte con il missile balistico intercontinentale R-7, per il quale nel 1959 il Capo Progettista, l'ingegnere sovietico e principale artefice del programma spaziale dell'U.R.S.S. Sergej Pavlovič Korolëv aveva sviluppato un quarto stadio destinato alle missioni interplanetarie verso Venere e Marte. Lo stesso razzo R-7 nella sua versione a tre stadi era stato già adoperato con successo nel 1957 per la messa in orbita da parte dell'Unione Sovietica del primo satellite della storia lo *Sputnik 1*.

I primi due tentativi di inviare una sonda verso Marte, effettuati rispettivamente il 10 e il 14 ottobre 1960 fallirono entrambi a causa di un malfunzionamento del terzo stadio del razzo R-7. Tuttavia, l'U.R.S.S. non si diede per sconfitta e nei 18 mesi successivi gli ingegneri sovietici si dedicarono allo sviluppo di una sonda modulare e tecnologicamente più progredita in grado di raggiungere sia Venere che Marte e di imbarcare strumenti scientifici dedicati. La successiva finestra di lancio si presentava nel 1962 ed era particolarmente favorevole, così l'Unione Sovietica decise di provare con tre lanci verso Marte. Due di questi non superarono l'orbita terrestre a causa dell'esplosione e conseguente disintegrazione questa volta del quarto stadio. Solo uno ebbe successo ed era quello che portava come carico utile la sonda Mars 1,

che tuttavia interrompe le comunicazioni radio con il centro di controllo quando mancavano circa 106 milioni di chilometri alla destinazione. Seguirono ulteriori fallimenti nel 1963 sempre per colpa del quarto stadio che era diventato per i sovietici una sorta di maledizione.

Nel frattempo gli americani stavano cercando di colmare il divario tecnologico allora esistente con i sovietici e agli inizi di novembre del 1964 tentarono il lancio della sonda Mariner 3 che anch'esso fallì a causa di un problema nel distacco del pannello di separazione dal vettore, il razzo Atlas LV-3 Agena D. Tuttavia, alla fine dello stesso mese gli Stati Uniti inviarono con successo una sonda gemella rispetto alla precedente, il Mariner 4 che il 14 luglio del 1965 eseguì il primo sorvolo ravvicinato (*fly-by*) a soli 10,000 chilometri dalla superficie del pianeta rosso. Furono proprio i primi fotogrammi inviati a Terra dalla sonda Mariner 4 che mostrarono agli scienziati il suolo di Marte costellato di crateri, come aveva già ipotizzato l'astronomo italiano Virginio Brenna nel 1967, anche se all'epoca il suo lavoro non era stato giudicato "attendibile" dall'editore della rivista *Coelum* [1].

I crateri ricordavano la Luna e nella mente dei planetologi incominciò a diffondersi la sensazione che il pianeta rosso fosse a tutti gli effetti un "mondo morto". Questa impressione fu confermata anche dalle immagini scattate dalle telecamere grandangolari da 52 e 508 mm di focale delle sonde statunitensi Mariner 6 e 7 che si avvicinarono a Marte il 27 marzo del 1969. Questi fotogrammi mostrarono da un lato la presenza di imponenti strutture vulcaniche nell'area del pianeta rosso denominata *Tharsis* e dall'altro l'esistenza di un immenso bacino, probabilmente formato a seguito dell'impatto con un enorme meteorite, privo di crateri, di forma pressoché circolare e del diametro di circa 1600 chilometri, già riportato sulla mappa disegnata dall'astronomo del XIX secolo Giovanni Virginio Schiaparelli e chiamato *Hellas*. Inoltre, rivelarono che l'atmosfera marziana aveva modificato la forma e il profilo dei crateri del pianeta. Ulteriore merito delle missioni Mariner 6 e 7 è stato quello di mappare circa il 20% della superficie di Marte e di misurare per la prima volta la composizione della sua tenue atmosfera, stabilendo che essa è formata quasi totalmente da anidride carbonica con piccole tracce di azoto e di argon, un gas inerte.

Si dovette aspettare il novembre del 1971 quando sia l'Unione Sovietica che gli Stati Uniti d'America provarono a mandare sonde automatiche in orbita stabile intorno a Marte e addirittura moduli di ammassaggio, non accontentandosi più di brevi *fly-by*. Il primo a partire fu l'8 maggio del 1971 il Mariner 8, che tuttavia precipitò nell'oceano Atlantico pochi secondi

dopo essersi staccato dalla rampa di lancio a causa di un malfunzionamento del vettore *Atlas-Centaur*. Anche il Mars 2 dell'U.R.S.S. inviato il 19 maggio dello stesso anno non ebbe maggior fortuna. Infatti, pur raggiungendo Marte non riuscì a rilevare alcun dato utile e il lander che avrebbe dovuto tentare il primo ammassaggio andò distrutto. Invece, la sonda gemella Mars 3 dell'Unione Sovietica fu la prima macchina costruita dall'uomo a raggiungere il 3 dicembre del 1971 il suolo di Marte registrando qualche dato e scattando poche fotografie prima di essere completamente sommersa e disattivata da una tempesta di sabbia.

A differenza delle precedenti, raggiunse con pieno successo il suo obiettivo la missione americana Mariner 9, che il 13 novembre del 1971 si inserì in orbita stabile intorno a Marte. In quel momento però, l'intero globo del pianeta era avvolto da una gigantesca tempesta di polvere. Nonostante la visuale fosse quasi completamente oscurata dai vortici di granelli di regolite marziana, il Mariner 9 rilevò comunque quattro macchie scure sporgere dalla coltre di polvere atmosferica. Si trattava dei quattro immensi vulcani della regione *Tharsis*, tra cui spicca l'*Olympus Mons*, che con i suoi oltre 25 chilometri di altezza e 600 chilometri di base è di gran lunga il più grande rilievo, a noi noto, nel Sistema Solare.

Le enormi dimensioni di questo vulcano a scudo sono probabilmente una conseguenza sia della particolare struttura della crosta di Marte non suddivisa in placche tettoniche come quella della Terra che, in parte, del ridotto campo gravitazionale del pianeta rosso, che ha permesso la crescita di strutture in verticale fino a quote molto più elevate a quanto siamo abituati sulla Terra. Dopo 80 giorni l'enorme tempesta di sabbia che ricopriva Marte si diradò consentendo alla sonda Mariner 9 di osservare dall'alto ulteriori interessanti caratteristiche del pianeta. La prima a destare l'attenzione degli scienziati fu una colossale rete di canyon, battezzata proprio *Valles Marineris*, in onore della sonda Mariner 9, su proposta dell'allora direttore del *Jet Propulsion Laboratory* della NASA, William Pickering. L'immensa vallata si dirama lungo l'equatore di Marte nella parte orientale della regione *Tharsis* e raggiunge un'estensione complessiva di oltre 4000 chilometri di lunghezza, 700 chilometri di larghezza e 11 di profondità. Questa scoperta ripropose Marte in una prospettiva diversa, perché quello scrutato dal Mariner 9 non sembrava più un "mondo morto" come la Luna, ma piuttosto un pianeta modellato da processi attivi sia *endogeni*, come i vulcani, che *esogeni* come i venti atmosferici, apparentemente simili a quelli che intervengono sulla Terra. Fu proprio la sonda Mariner 9, che nei quasi 12 mesi in cui rimase operativa, fotografò per la prima volta quelle

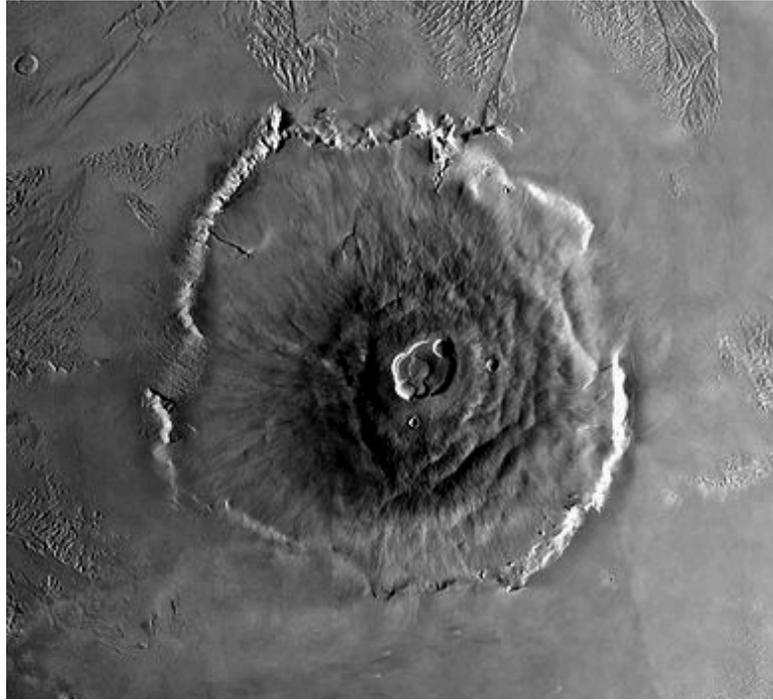


Fig. 3. Fotografia dell'*Olympus Mons* scattata dalla sonda spaziale U.S.A. Viking 1.

importanti strutture del suolo di Marte, legittimamente interpretabili come letti disseccati scavati da fiumi di acqua liquida, avvalorando l'ipotesi suggestiva che in un remoto passato, Marte potesse essere un pianeta molto più caldo e umido e quindi meno inospitale per la vita organica così come noi la conosciamo.

Nella sfida tecnologico-spaziale che ha accompagnato la "Guerra Fredda" e che fu intrapresa tra Stati Uniti e Unione Sovietica, quest'ultima, pur avendo vinto le prime tappe aveva fallito l'obiettivo forse più importante, quando il 21 luglio del 1969 alle ore 02.56 del tempo coordinato universale il comandante della missione Apollo 11, l'astronauta americano Neil Armstrong aveva messo piede sul suolo lunare, precisamente in corrispondenza della pianura basaltica della Luna denominata Mare della Tranquillità, prima di un cosmonauta sovietico. L'U.R.S.S. non riuscì a riscattarsi nemmeno nell'esplorazione di Marte. Infatti, anche le missioni sovietiche Mars 4, 5, 6 e 7 lanciate negli anni 1973-74 fallirono a causa di sistemi mal progettati, componenti difettosi e una certa dose di sfortuna. I sovietici dovettero cedere il passo agli americani. Questi alle ore 5:12 del fuso orario della California del 20 luglio 1976 dopo un viaggio di 850 milioni di chilometri della durata di circa dieci mesi condussero con successo la sonda spaziale *Viking 1* sulla superficie di Marte e precisamente in una regio-

ne dell'emisfero settentrionale, dove gli antichi corsi d'acqua si erano aperti a ventaglio per formare una pianura vulcanica denominata *Chryse Planitia* (la pianura dell'oro). La sonda restituì a terra dopo circa 90 minuti dall'ammartaggio le immagini della superficie marziana desertica e cosparsa di rocce, sassi e dune di sabbia, molto simile ad alcuni paesaggi dell'Arizona, e illuminata da un brillante cielo tingeggiato di rosso a causa della diffusione di questo colore dello spettro luminoso ad opera delle particelle di polvere sospese nell'atmosfera.

Poche settimane dopo il 6 settembre del 1976 atterrò su Marte in una regione, *Utopia Planitia*, collocata più a nord rispetto al sito di ammartaggio del *Viking 1*, anche la sua sonda gemella, il *Viking 2*. Ciascuna delle due sonde, il cui obiettivo principale era quello di accertare o meno la presenza di tracce di microrganismi sul pianeta rosso, consisteva in un orbiter e un lander ovvero un modulo di ammartaggio in superficie. Quest'ultimo era schermato da uno speciale scudo di protezione termica per difendere i preziosi e delicati strumenti scientifici nella pericolosa fase di ingresso nell'atmosfera marziana ed era dotato di razzi di discesa e di controllo di assetto, sistemi di telecomunicazione con l'orbiter, altimetro radar, 2 telecamere, sismometro, alimentatore a radioisotopi per la produzione di energia elettrica, computer di bordo e soprat-



Fig 4. La prima fotografia a colori della superficie di Marte scattata dal lander della sonda Viking 1 il 21 luglio 1976.

tutto un particolare braccio meccanico per perforare e raccogliere campioni del suolo marziano. L'orbiter invece aveva il compito non solo di mantenere i contatti radio con la Terra e con il lander, ma anche di effettuare un'ampia ricognizione fotografica di tutto il pianeta ad una risoluzione maggiore del Mariner 9. Le sonde *Viking 1* e *2* hanno funzionato per molti anni (il *Viking 2* fino al 1980 e il *Viking 1* fino al 1982) come vere e proprie stazioni meteorologiche. Hanno permesso non solo di misurare per la prima volta le condizioni climatiche alla superficie di Marte in corrispondenza del loro sito di ammassaggio, rilevando temperature comprese tra -140 e -28 °C, pressioni di 7.7 millibar e venti da est alla velocità di 24 km/h, ma soprattutto di scoprire alcuni fenomeni originali della meteorologia di Marte. Ad esempio, in inverno la pressione atmosferica cala del 20% a causa del congelamento dell'anidride carbonica che gela e si accumula nella calotta polare provocandone un rigonfiamento. Altro fenomeno peculiare è la formazione di violente tempeste di sabbia che partono dai poli ma si estendono all'intero pianeta perdurando anche per mesi. Queste forti tempeste che possono scatenare venti con velocità fino a 400 km/h sono causate dalle differenze di temperatura tra l'emisfero australe e quello settentrionale di Marte quando il pianeta, durante l'estate del polo Sud, si avvicina al Sole per effetto della sua

inclinazione rispetto al piano orbitale, l'emisfero meridionale del pianeta è più esposto alla radiazione solare. Sebbene oggi l'acqua liquida non possa esistere su Marte, gli orbiter hanno rilevato numerose volte la presenza di nebbie e brine specialmente sulle vaste depressioni come la *Valles Marineris* e di nubi di vapore acqueo sopra l'equatore marziano nelle ore di massima incidenza dei raggi solari. Alcuni scienziati sono convinti che l'acqua inizialmente abbondante su Marte sia in parte sfuggita dall'atmosfera a causa del ridotto campo gravitazionale e in parte depositata in un profondo strato di permafrost sotterraneo, ma ciò può accadere solo se l'acqua anticamente era in forma liquida e poteva scorrere e penetrare all'interno del friabile e sabbioso suolo marziano. Ancora una volta emergono indizi che ci spingono a pensare che l'atmosfera di Marte in passato dovesse essere molto più calda e densa di quanto non sia oggi e secondo alcuni planetologi questo può essere spiegato considerando le variazioni di esposizione al Sole dovute ai cambiamenti dell'orbita del pianeta rosso. Infatti, l'orbita di Marte è molto eccentrica e varia nell'arco di un lasso di tempo dell'ordine dei centomila anni. Quando raggiunge il suo valore massimo Marte si avvicina di più alla nostra stella e di conseguenza l'emisfero australe si riscalda, scatenando tempeste di polvere ancora più intense, tali da coprire quasi totalmente le calot-

te polari abbassando in questo modo anche l'albedo del pianeta, facendo evaporare il ghiaccio d'acqua dei poli e in poche parole innescando un "effetto serra" astronomico che può essere compatibile con temperature e pressioni tali da permettere all'acqua liquida di scorrere sulla superficie di Marte.

Per i successivi 12 anni il pianeta rosso fu dimenticato. Il suo volto deserto, freddo e roccioso aveva scoraggiato Stati Uniti e U.R.S.S. dall'investire tempo e risorse in ulteriori missioni di esplorazione fin quando a metà degli anni '80 l'Unione Sovietica, che aveva maturato notevoli competenze in ambito spaziale con numerose missioni di successo su Venere e con le due missioni Vega dirette sulla cometa di Halley, provò ancora una volta a riprendere la corsa verso Marte. Fu progettata e realizzata una sonda più complessa e articolata, equipaggiata con numerosi e sofisticati strumenti scientifici, frutto anche di collaborazioni internazionali, che avrebbe dovuto inserirsi in un'orbita particolare intorno a Marte e allo stesso tempo effettuare un sorvolo ravvicinato del satellite Phobos allo scopo di inviare sulla luna di Marte due piccoli moduli esplorativi. Le sonde furono lanciate nel luglio del 1988, ma mentre *Phobos 1* andò perduta durante il viaggio interplanetario a causa di errori nella sequenza di comando da Terra, *Phobos 2* giunse a destinazione nel gennaio del 1989 e riuscì anche a inserirsi nell'orbita corretta, ma all'ultima manovra si perse il controllo per problemi dovuti all'elettronica di bordo. Nonostante la missione *Phobos 2* non avesse raggiunto appieno tutti i suoi obiettivi, questa permise all'U.R.S.S. di acquisire molti più dati e informazioni di quanto rilevato in tutte le precedenti missioni sovietiche verso Marte. Gli americani raccolsero il "guanto di sfida" tecnologico simbolicamente gettato dai sovietici e provarono nel 1992 a inviare un satellite il *Mars Observer* per l'esplorazione di Phobos, ma tre giorni prima dell'inserzione in orbita marziana il sistema di propulsione fallì in modo catastrofico. Negli anni successivi gli americani trassero esperienza da questo incidente organizzando un nuovo programma di esplorazione di Marte basato su sonde più economiche, ma su lanci più frequenti. Anche il nuovo programma dovette registrare alcuni insuccessi, ma tra le missioni andate a buon fine bisogna sicuramente ricordare sia il *Mars Global Surveyor* che entrò nell'orbita marziana nel settembre del 1997 e soprattutto il *Mars Pathfinder* che toccò il suolo del pianeta rosso il 4 luglio, il giorno dell'indipendenza degli Stati Uniti, del 1997 e sganciò sulla superficie di Marte per la prima volta nella storia un veicolo mobile il *Sojourner*, un piccolo robot con 6 ruote, che rimase in servizio per 4 mesi analizzando chimicamente le rocce e il suolo nei dintorni del sito di ammartag-

gio e rappresenta il capostipite dei rover marziani.

Altra tappa fondamentale fu l'anno 2003 in cui l'orbita di Marte è stata raggiunta per la prima volta con successo da una sonda europea il *Mars Express*, che scandagliò la superficie del pianeta rosso rilevando la presenza di ghiaccio di acqua al polo Sud e di vapore acqueo nella tenue atmosfera. Meno fortunato fu invece il lander europeo *Beagle 2* della stessa missione *Mars Express* che fu sganciato dall'orbiter il 25 settembre del 2003, ma andò distrutto nella delicata fase di ingresso nell'atmosfera di Marte.

Dopo i successi conseguiti dal rover *Sojourner*, gli americani hanno condotto con successo sulla superficie di Marte altri due robot *Spirit* e *Opportunity* il 4 e il 25 gennaio del 2004 e soprattutto il *Mars Science Laboratory* - *MSL Curiosity* nell'agosto del 2012, che è stato il robot per l'esplorazione spaziale più sofisticato operante su Marte mai realizzato fino agli inizi di quest'anno quando è stato superato dal rover della missione *Mars 2020*.

Infatti, il 18 febbraio di quest'anno il rover americano *Perseverance* della NASA ha raggiunto con pieno successo il pianeta rosso dopo un viaggio interplanetario di oltre sei mesi iniziato il 30 luglio del 2020 a bordo di un razzo *Atlas V* staccatosi da terra dalla famosa base di lancio di *Cape Canaveral* in Florida negli U.S.A. la stessa, da cui il 16 luglio del 1969 partì la celeberrima missione Apollo 11.

È stata scelta, non a caso, la finestra di lancio di luglio 2020, perché in quel periodo la Terra e Marte, erano relativamente vicini e si trovavano alla distanza di circa 105 milioni di chilometri permettendo in questo modo di accorciare il viaggio interplanetario, che con gli attuali sistemi propulsivi è durato meno di 7 mesi. Infatti, a causa della considerevole eccentricità dell'orbita ellittica del Pianeta rosso pari a 0.09, la distanza Terra-Marte è fortemente variabile e può superare di poco i 400 milioni di chilometri quando Marte si trova lontano dal Sole, ovvero in corrispondenza dell'*afelio*, mentre può essere leggermente inferiore a 55 milioni di chilometri quando Marte si avvicina al Sole raggiungendo il suo *perielio*. In accordo alla meccanica celeste le opposizioni favorevoli tra Terra e Marte, in cui i due pianeti si trovano alla loro minima distanza si verificano ogni 780 giorni, corrispondenti a circa 26 mesi.

Due sono gli obiettivi fondamentali della missione del rover: raccogliere campioni del suolo marziano che successivamente si prevede di inviare a Terra e analizzare in laboratorio e soprattutto cercare tracce di antiche forme di vita microbiologica che il pianeta rosso potrebbe aver ospitato in un passato remoto. Per questo motivo è stato scelto come sito dell'ammartaggio il cratere *Jazero*, un'enorme depressione ritenuta

dagli scienziati della NASA il bacino di un antichissimo lago profondo circa 500 metri e originatosi dopo l'impatto con un asteroide avvenuto miliardi di anni fa.

Perseverance ha le dimensioni grossomodo di un pulmino, con circa 3 metri di lunghezza, 2.7 metri di larghezza e 2.2 di altezza, ma pesa solo 1025 kg, risultando così più leggero di un'automobile compatta. La sua struttura complessiva e i suoi componenti sono molto simili a quelli di altri robot precedentemente inviati su Marte. Infatti, nella sua progettazione e realizzazione gli ingegneri e tecnici della *NASA* hanno sfruttato numerose tecnologie già sviluppate per il suo predecessore *Curiosity*. Non mancano, tuttavia, alcuni importanti miglioramenti.

Diametro, larghezza e spessore delle ruote di *Perseverance* sono stati ottimizzati rispetto a *Curiosity* per aumentare l'aderenza e la stabilità del sistema di locomozione del *rover* sulla regolite del pianeta rosso. Il sistema elettronico di controllo e il software della sonda sono stati notevolmente potenziati per migliorare l'accuratezza nella determinazione dell'istante ottimale di apertura del paracadute durante la delicata fase di ingresso a velocità ipersoniche nell'atmosfera marziana. La sonda è stata anche equipaggiata con un sistema radar in grado di scandagliare il suolo di Marte e di acquisire in tempo reale immagini della sua

superficie in modo da identificare un sito di ammaraggio privo di ostacoli e idoneo al rilascio del *rover* mediante il sistema *sky crane*. Per esplorare il suolo marziano, *Perseverance* dispone di un avveniristico sistema di navigazione e controllo dotato di sensori ottici e di sofisticati algoritmi di autoapprendimento, basati su modelli di intelligenza artificiale, grazie ai quali potrà percorrere durante la sua missione un tragitto molto più lungo rispetto a *Curiosity*.

L'energia necessaria per alimentare tutti gli strumenti e i sottosistemi di *Perseverance* proviene da un generatore termoelettrico di radioisotopi a base di diossido di plutonio, che per effetto Seebeck converte il calore sviluppato dal decadimento radioattivo del combustibile nucleare in energia elettrica e conferisce al *rover* un'autonomia di almeno 687 giorni pari a un anno marziano.

Il *rover* ha anche l'obiettivo di testare nuove tecnologie abilitanti l'esplorazione e la colonizzazione umana del Pianeta rosso. In particolare, *Perseverance* il 20 aprile 2021 ha sperimentato con successo il dimostratore *Mars Oxygen In-Situ Resource Utilization Experiment - MOXIE*, che impiegando innovative celle elettrolitiche a ossidi solidi, ha trasformato nell'arco di un'ora l'anidride carbonica che costituisce circa il 96% della tenue atmosfera di Marte in poco più di 5 grammi di ossigeno, essenziale non solo come gas

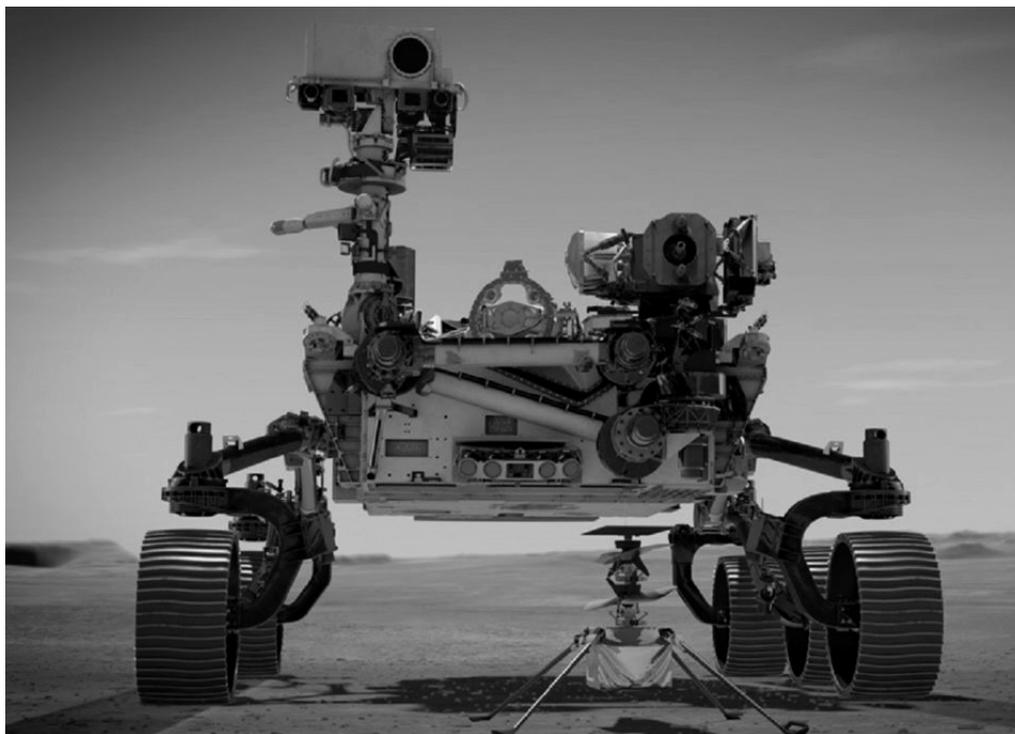


Fig. 5. Il rover *Perseverance* e il drone *Ingenuity*.

respirabile per il supporto alla vita, ma anche come propellente dei motori a razzo in grado di partire dal pianeta.

Un altro strumento fondamentale del *rover*, è il suo trapano, comandato da un braccio robotico, con il quale *Perseverance* sta prelevando campioni del suolo marziano per analizzarli direttamente sul pianeta rosso mediante speciali spettrometri di massa e gas-cromatografi miniaturizzati nella speranza di individuare tracce di vita microbiologica di origine marziana. I campioni saranno poi raccolti nel 2026 da un altro *rover* sviluppato questa volta dall'Agenzia Spaziale Europea - ESA che li invierà a un modulo orbitante intorno a Marte per poi portarli sulla Terra.

Oltre a sensori elettromagnetici per analizzare il sottosuolo marziano e telecamere panoramiche e ad alta risoluzione con cui sta scattando splendide fotografie del cratere *Jazero*, *Perseverance* è equipaggiato anche con spettrometri laser e *Raman* e con un visualizzatore a raggi X per la ricerca di tracce di molecole organiche fino a 5 cm al di sotto della superficie del pianeta rosso. Il *rover* è anche dotato di microfoni per registrare, per la prima volta, i suoni dei venti e dei fenomeni meteorologici dell'atmosfera di Marte. Inoltre, il dispositivo più affascinante da un punto di vista ingegneristico è probabilmente l'elicottero *Ingenuity* (che significa *ingegnosità* e non *ingenuità*) che per la prima volta il 19 aprile 2021 ha dimostrato con suc-

cesso la possibilità del volo controllato di una macchina artificiale su un pianeta extraterrestre, librandosi per 40 secondi nella tenue atmosfera di Marte. L'impresa è molto complessa a causa della bassissima densità dell'atmosfera marziana pari a circa lo 0.6% di quella terrestre, che ha richiesto la realizzazione di un'elica con pale controrotanti che girano a una velocità molto superiore alle tradizionali 2400 ripetizioni per minuto degli elicotteri convenzionali. Queste pale sono state costruite con speciali materiali compositi rinforzati con fibre di carbonio per contrastare l'intensa forza centrifuga che si genera a queste enormi velocità e con angoli di attacco molto larghi per aumentare la portanza. Il sistema propulsivo di *Ingenuity* è completamente elettrico e sfrutta sei batterie al litio in grado di assicurare alla macchina un'autonomia di circa 90 secondi. Le batterie sono ricaricabili mediante pannelli fotovoltaici. Obiettivo di *Ingenuity* è non solo quello di scattare affascinanti fotografie di Marte dall'alto, ma soprattutto di fornire ai tecnici e progettisti della NASA le informazioni utili per la progettazione di un futuro *rover* completamente volante per l'esplorazione di Marte.

Prima ancora dell'arrivo di *Mars 2020* e precisamente il 9 febbraio di quest'anno l'orbita di Marte era stata già raggiunta dalla sonda *Hope Mars Mission* del *Mohammed bin Rashid Space Centre* degli Emirati Arabi Uniti lanciata dal vettore H2A202 partito dal



Fig. 6. L'elicottero per la bassa atmosfera di Marte *Ingenuity*.

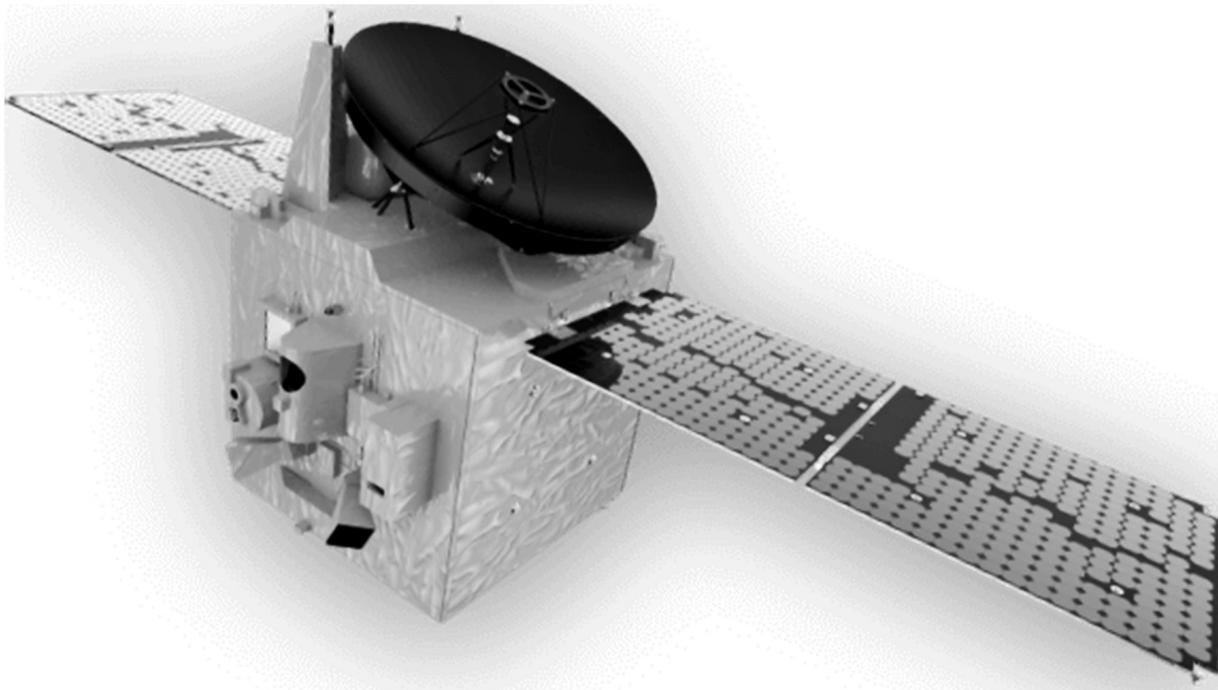


Fig. 7. La sonda degli Emirati Arabi Uniti *Hope*.

Centro spaziale Tanegashima a sud dell'isola Kyūshū in Giappone il 19 luglio del 2020 durante la stessa finestra temporale sfruttata anche dalla NASA per minimizzare i tempi del viaggio interplanetario.

L'obiettivo della missione è quello di studiare in dettaglio l'atmosfera di Marte da una distanza compresa tra 20,000 e 43,000 chilometri e in particolare monitorare i cambiamenti meteorologici e climatici durante il ciclo diurno e stagionale del pianeta rosso, la distribuzione di gas come idrogeno e ossigeno nell'*esosfera* (la parte superiore dell'atmosfera) attraverso tre sofisticati strumenti.

1. *Emirates Mars InfraRed Spectrometer - EMIRS*: spettrometro a interferenza termica negli infrarossi destinato a investigare la bassa atmosfera di Marte, a misurare la distribuzione della polvere, del vapore acqueo e della temperatura e a ricostruire i moti e la circolazione dell'aria marziana.
2. *Emirates Exploration Imager - EXI*: fotocamera che oltre a scattare fotografie ad alta risoluzione della superficie di Marte, sta studiando la bassa atmosfera nel campo del visibile e dell'ultravioletto e sta fornendo indicazioni sulla densità dello strato di ozono e sulla distribuzione di ghiaccio d'acqua nell'atmosfera di Marte.
3. *Emirates Mars Ultraviolet Spectrometer -*

EMUS: spettrometro per l'indagine nell'ultravioletto che sta misurando l'abbondanza e le variazioni stagionali delle concentrazioni di monossido di carbonio e di ossigeno nella parte superiore dell'atmosfera di Marte.

La missione *Hope Mars* testimonia il crescente interesse e la forte accelerazione tecnologica e scientifica intrapresa anche da attori relativamente nuovi nel panorama spaziale, come gli Emirati Arabi Uniti, che disponendo di considerevoli risorse finanziarie e con il supporto dell'industria giapponese hanno raggiunto una significativa tappa nella "corsa allo spazio".

In questo scenario più strategica ancora è la missione *Tianwen-1*, lanciata dal razzo Lunga Marcia 5 della *China National Space Administration (CNSA)*, partito dal centro spaziale di Wenchang sull'isola di Hainan, non a caso, situata nella parte più meridionale della Cina, il 23 luglio del 2020. Anche *Tianwen-1* ha raggiunto con pieno successo l'orbita del pianeta rosso a febbraio di quest'anno, precisamente il 10 ancora prima dell'arrivo della sonda della NASA *Mars 2020*.

Il nome dell'orbiter cinese, che significa "ricerca della verità celeste" o letteralmente "domande al cielo" trae origine da un lungo componimento scritto da Qu Yuan vissuto tra il 340 e il 278 a. C. che fu uno dei poeti più importanti dell'antica Cina e riflette l'obiettivo *apparentemente* esplorativo e conoscitivo.



Fig. 8. La sonda cinese *Tianwen-1* in fase di integrazione e test.

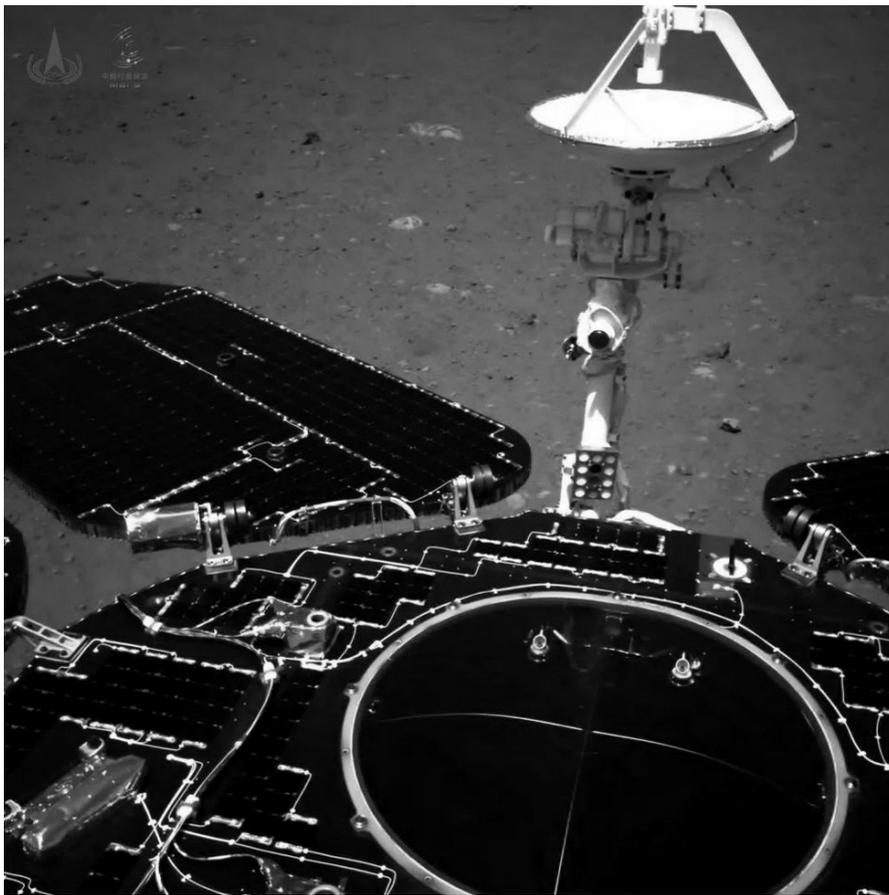


Fig. 9. Autoscatto del rover cinese *Zhurong*.

tivo di questa ambiziosa spedizione interplanetaria cinese. La CNSA non si è accontentata di studiare, fotografare e mappare il suolo marziano a distanza ravvicinata acquisendo nei primi mesi di quest'anno un'enorme quantità di dati. Infatti, in base alle informazioni pubblicate dalle agenzie di stampa cinesi *Xinhua* e *CGTN*, alle ore 1.18 del fuso orario dell'Europa centrale del 15 maggio di quest'anno dall'orbiter della missione *Tianwen-1* si è staccato un *lander*, che nei successivi 9 minuti ha penetrato la tenue, ma non per questo meno pericolosa atmosfera marziana rallentando durante la discesa prima con un sistema di paracaduti e poi di retro-razzi fino a completare con successo l'ammartaggio morbido e in piena sicurezza sul sito precedentemente selezionato. Si tratta della vasta pianura lavica dell'emisfero settentrionale di Marte, nota come *Utopia Planitia*, a circa 2000 chilometri dal cratere *Uzzero*, dove sta operando il suo concorrente *Perseverance* e che con un diametro di circa 3300 chilometri costituisce il più grande bacino da impatto meteoritico ad oggi conosciuto sul Pianeta rosso. Su di essa il lander cinese ha rilasciato il rover, denominato *Zhurong*, dal nome del dio del fuoco della mitologia e religione popolare cinese, proprio perché in cinese il pianeta Marte è chiamato anche Stella del Fuoco.

Zhurong, con una massa di 240 kg e un'altezza di circa 1.85 metri è molto più leggero e piccolo di *Per-*

severance, in effetti è poco più grande dei robot *Spirit* e *Opportunity*.

Inoltre, a differenza del suo rivale americano, il rover della CNSA utilizza come sorgente di energia quattro pannelli solari dispiegabili ed è progettato per garantire un'autonomia di 90 giorni marziani (*sol* in linguaggio astronomico).

Numerosi sono gli obiettivi scientifici della missione *Tianwen-1*, tra di essi:

- i. Determinare le caratteristiche della struttura topografica e geologica di Marte.
- ii. Studiare il suolo e la distribuzione del ghiaccio d'acqua sulla superficie del pianeta rosso.
- iii. Analizzare la composizione chimica della superficie marziana.
- iv. Studiare la ionosfera, le condizioni climatiche in superficie e quelle ambientali.
- v. Investigare i campi magnetici e gravitazionali di Marte.

Per raggiungere questi risultati *Tianwen-1* è dotato di 13 strumenti scientifici molto sofisticati, di cui 7 installati sull'orbiter e 6 su *Zhurong*.

I 7 payload dell'orbiter sono:

1. *MoRIC*: fotocamera a moderata risoluzione.
2. *HiRIC*: fotocamera ad alta risoluzione.
3. *MOSIR*: radar per l'esplorazione dall'orbita.
4. *MMS*: spettrometro mineralogico.

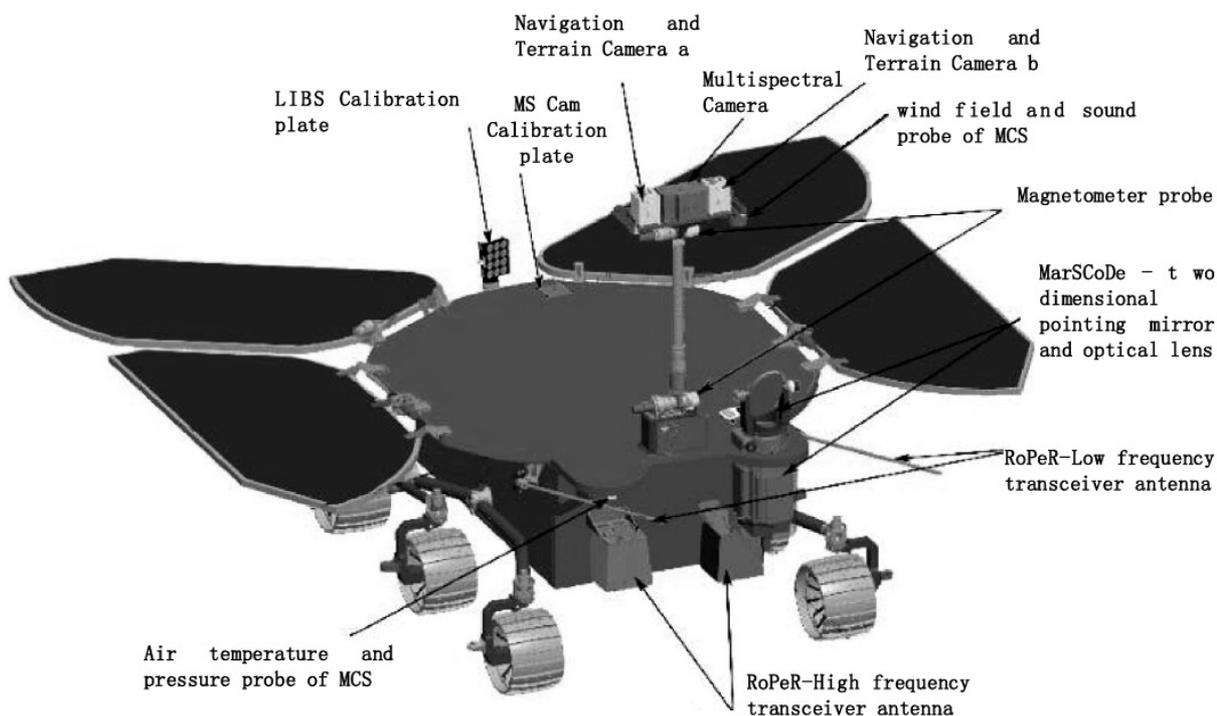


Fig. 10. Strumentazione scientifica del rover cinese *Zhurong* [3].

5. *MOMAG*: rilevatore del campo magnetico dall'orbita.
6. *MINPA*: analizzatore di ioni e particelle neutre.
7. *MEPA*: analizzatore di particelle ad alta energia.

Invece i 6 strumenti del rover sono:

8. *RoPeR*: georadar che servirà a scandagliare il sottosuolo marziano ed è dotato di due canali di acquisizione uno a bassa frequenza con profondità di penetrazione fino a 100 metri con risoluzione di pochi metri e l'altro ad alta frequenza con una profondità di penetrazione ridotta a soli 10 metri, ma una risoluzione dell'ordine di pochi centimetri.
9. *RoMAG*: misuratore del campo magnetico di Marte.
10. *Mars Climate Station - MCS*: stazione meteorologica completa di termometro, barometro e anemometro.
11. *MarSCoDe*: spettrometro laser ad induzione per l'analisi chimica qualitativa e quantitativa di campioni di rocce e suolo.
12. Telecamera multispettrale.
13. Telecamera per la navigazione e i rilievi topografici.

La Cina così è diventato il terzo Paese dopo l'Unione Sovietica e gli Stati Uniti d'America a portare con successo un veicolo sulla superficie di Marte.

L'Agenzia Spaziale Europea (ESA) per il momento si propone di contribuire all'esplorazione di Marte con la missione *Mars Sample Return (MSR)* a cui l'Italia partecipa in modo significativo sia a livello accademico, scientifico che industriale e il cui ambizioso obiettivo è quello di riportare a Terra i campioni di rocce e suolo marziano, che in questi mesi sta prelevando *Perseverance* nelle sue ricognizioni sul cratere *Jazero*.

La missione *Tianwen-1* ha segnato sicuramente una pietra miliare nel programma spaziale della Cina a conferma della sua crescente importanza e predominio a livello globale e tecnologico e non è azzardato supporre che la "conquista di Marte" ovvero l'invio con pieno successo di un equipaggio umano sul pianeta rosso possa rappresentare oggi il nuovo scenario della competizione per la supremazia geo-politica e tecnologico-economica tra gli Stati Uniti d'America e la Cina che si sta sempre più affermando come nuova superpotenza al posto dell'oramai dissolta Unione Sovietica.

Per quanto riguarda il ruolo dell'Europa, ripercorrendo la cronologia dell'esplorazione del pianeta rosso [22], troviamo la già citata *Mars Express*, costituita

da un orbiter e da un lander (*Beagle 2*) il cui compito era quello di fornire dati sul suolo marziano cercando possibili tracce di vita, presenti o passate. La missione è partita il 2 giugno 2003 con un lanciatore Soyuz/Fregat ed ha impiegato circa sei mesi a raggiungere Marte.

Come riportato dal sito dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) [23], gli obiettivi della missione sono stati *la caratterizzazione mineralogica a media scala della superficie, lo studio dell'atmosfera e della circolazione atmosferica, lo studio dell'interazione tra l'atmosfera ed il vento solare e la misura del rate di ablazione, la mappatura fotografica ad alta risoluzione anche in stereo della superficie e lo studio delle strutture sub-superficiali per la ricerca di acqua o ghiaccio.*

Più recentemente (2016), l'Europa è stata nuovamente protagonista attraverso la missione *ExoMars 2016* che comprendeva due veicoli spaziali, un orbiter (*Trace Gas Orbiter*) e un lander, lanciati entrambi nel 2016. Il *Trace Gas Orbiter (TGO)* aveva il compito di rilevare tracce di gas nell'atmosfera marziana. Il lander *Schiaparelli* (chiamato così in onore del celebre astronomo Italiano) è un EDM (*Entry and Descent Module*) in grado di testare le tecnologie abilitanti per future missioni ed aveva un carico utile (*payload*) progettato per effettuare misurazioni atmosferiche [24]. L'EDM *Schiaparelli*, dopo essersi staccato dalla sonda il 16 ottobre 2016, è però precipitato su Marte il 19 ottobre per un'anomalia ad uno dei sistemi di controllo [25].

La missione *ExoMars* prevede anche una seconda parte a Settembre 2022 che comprende un rover Europeo, *Rosalind Franklin*, ed una piattaforma scientifica Russa, *Kazachok*. La missione ha il compito di cercare tracce di vita passata e presente sul pianeta e investigare la caratterizzazione geochimica del pianeta, al fine di migliorare la conoscenza dell'ambiente Marziano per future missioni umane. Inoltre, *ExoMars* ha l'obiettivo di validare tecnologie per le future esplorazioni spaziali che riguardano sia il volo che le operazioni in situ [25], 0.

Per entrambe le missioni, il ruolo scientifico dell'Italia è significativo e può essere così riassunto. Nella missione *Mars Express*, l'ASI ha fornito i seguenti strumenti [25]:

- Lo spettrometro di Fourier per lo studio dell'atmosfera;
- Il radar sub-superficiale MARSIS (*Mars Advanced Radar for Subsurface and Ionosphere Sounding*), realizzato con il contributo della NASA/JPL.

Invece, per quanto riguarda *ExoMars*, l'Italia ha contribuito con i seguenti strumenti [25]:

- La camera a bordo di TGO (CaSSIS), per acquisire immagini ad alta risoluzione di Marte (collaborazione ASI-INAF-Università di Berna).
- DREAMS (*Dust Characterization, Risk Assessment and Environment Analyser on the Martian Surface*) a bordo di Schiaparelli, che comprende sensori per la misura dei parametri meteorologici e del campo elettrico atmosferico (collaborazioni ASI-INAF-CISAS).
- AMELIA (*Atmospheric Mars Entry and Landing Investigation and Analysis*), modellistica dell'atmosfera marziana attraverso dati provenienti dai sensori del lander Schiaparelli (collaborazione ASI-CISAS).
- MA_MISS (*Mars Multispectral Imager for Subsurface Studies*) spettrometro per l'analisi dell'evoluzione geologica e biologica del sottosuolo marziano (collaborazione ASI-INAF).
- NOMAD (*Nadir and Occultation for Mars Discovery*), insieme di spettrometri ad alta risoluzione in grado di analizzare con grande dettaglio i gas che compongono l'atmosfera di Marte.
- INRRI (*INstrument for landing-Roving laser Retroreflector Investigations*), microriflettore laser (collaborazione ASI-INFN).

Infine, il ruolo determinante dell'Italia nella missione *ExoMars* è testimoniato anche dal fatto che all'azienda Thales Alenia Space Italia S.p.A. è stata assegnata la leadership principale di entrambe le missioni, oltre alla responsabilità complessiva del sistema. L'industria Italiana è inoltre presente attraverso Leonardo S.p.A. (sistemi fotovoltaici, unità di potenza e i sensori di assetto e contributo alla realizzazione dello strumento CaSSIS nonché del trapano per la perforazione del suolo marziano), Telespazio S.p.A. (sviluppo del centro di controllo di missione e infrastruttura per le comunicazioni) e ALTEC S.p.A. (sviluppo del centro operativo di controllo del rover e controllo del rover sulla superficie del pianeta) [25].

“Completato il 16 luglio 2021”.

Bibliografia

- [1] Enrico Bellone, *La Scienza - Volume 2 Il Sistema Solare - La Biblioteca di Repubblica - Grandi Opere di UTET Cultura*, (2005).
- [2] Harry L. Shipman, *L'Universo Inquieto - Introduzione all'Astronomia - Zanichelli*, (1987).
- [3] Z. Yongliao, Z. Yan, B. Yunfei, W. Lianguo, J. Yingzhuo, S. Weihua, F. Yu, L. Yang, W. Chi, Z. Aibing, Y. Guobin, D. Jihong, S. Rong, H. Zhiping, Z. Tielong, D. Aimin, F. Mingyi, Y. Jianfeng, Z. Bin, W. Yi, P. Yongqing, Scientific objectives and payloads of Tianwen-1, China's first Mars exploration mission, *Advances in Space Research* 67, 812-823, (2021).

- [4] N.G. Barlow, *Mars: An Introduction to its Interior, Surface and Atmosphere - Cambridge Planetary Science*, (2008).

Sitografia

- [5] <https://mars.nasa.gov/multimedia/interactives/revealing-mars-before-after-image-comparison-slider/mars-history/>
- [6] <https://www.nature.com/articles/d41586-021-00698-5>.
- [7] https://www.ansa.it/canale_scienza_tecnica/notizie/spazio_astronomia/2021/02/09/corsa-a-marte-3-sonde-in-arrivo-in-10-giorni-_d0274ed6-5876-459c-9cd2-b5c59054f627.html.
- [8] <https://spectrum.ieee.org/automaton/aerospace/robotic-exploration/nasa-designed-perseverance-helicopter-rover-fly-autonomously-mars>.
- [9] <https://www.technologyreview.com/2021/04/19/1023137/nasa-helicopter-drone-mars-ingenuity/>
- [10] <https://opensistemas.com/en/ingenuity-flies-on-mars-thanks-to-open-source-software/>
- [11] <https://www.wired.com/story/nasa-is-training-an-ai-to-detect-fresh-craters-on-mars/>
- [12] <https://www.softelligence.net/blog/the-nasa-perseverance-mars-landing-a-victory-for-artificial-intelligence-and-machine-learning/>
- [13] <https://www.emiratesmarsmission.ae/>
- [14] <http://www.cnsa.gov.cn/>
- [15] <http://www.cnsa.gov.cn/english/n6465652/n6465653/c6812000/content.html>.
- [16] <http://www.cnsa.gov.cn/english/n6465652/n6465653/c6812028/content.html>.
- [17] <http://www.cnsa.gov.cn/english/n6465652/n6465653/c6812112/content.html>.
- [18] <https://www.aljazeera.com/news/2021/5/15/chinas-tianwen-1-spacecraft-completes-historic-mars-landing>.
- [19] <https://www.nytimes.com/2021/05/14/science/china-mars.html>.
- [20] <https://www.nytimes.com/2021/06/15/world/asia/china-russia-space.html>.
- [21] <https://www.voanews.com/science-health/chinese-rover-mars-ushers-new-space-race>.
- [22] https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/chronology_mars.html.
- [23] <https://www.asi.it/esplorazione/sistema-solare/mars-express/>.
- [24] <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=2016-017A>
- [25] <https://www.asi.it/esplorazione/sistema-solare/exomars/>
<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=EXOMARS22>.

GUIDO SACCONI

Nato a Napoli il 15 novembre 1977, laureato in ingegneria chimica nel 2004 presso l'Università degli Studi di Napoli Federico II, ha conseguito un master in comunicazione e divulgazione scientifica nel 2006 e un dottorato di ricerca in ingegneria dei materiali e delle strutture nel 2008 presso la medesima istituzione accademica. Nel 2009 ha vinto una borsa di ricerca post-doc presso il Centro Italiano Ricerche Aerospaziali - CIRA S.c.p.a. sul tema delle termostruture ceramiche per altissime temperature. Nel 2012 è stato assunto presso l'Unità di Propulsione del CIRA dove attualmente lavora nel laboratorio di Tecnologie per l'Esplorazione dello Spazio. Per quanto concerne l'attività di ricerca, il Dr. Sacconi si occupa di numerosi progetti di rilevanza nazionale e internazionale, specialmente sul tema della combustione del metano per motori a razzo a propellenti liquidi, sull'ossidazione dell'idrogeno per veicoli scramjet, su sistemi di propulsione ibrido-elettrici, su materiali

compositi a matrice ceramica, sulla progettazione di sistemi di abbattimento di emissioni inquinanti provenienti da motori a razzo a propellenti solidi, e su materiali innovativi per missioni di esplorazione e colonizzazione lunare e marziana sia robotica che umana. Per quanto riguarda l'attività di divulgazione scientifica, il Dr. Saccone ha partecipato nel 2007-2008 al comitato di redazione della rivista *Trasferimento Tecnologico* ed è attualmente membro dell'associazione *Amici di Città della Scienza*, in collaborazione con la quale organizza occasionalmente seminari culturali su temi inerenti specialmente alla chimica e ai materiali. Infine, il Dr. Saccone è autore di numerose pubblicazioni su riviste scientifiche di settore e ha partecipato a svariati congressi internazionali.

Contatti:

e-mail: [Guido.Saccone@analysis-online.net.](mailto:Guido.Saccone@analysis-online.net), g.saccone@cira.it.

GIANFRANCO MORANI

Ricercatore del laboratorio di Guida, Navigazione e Controllo del Centro Italiano Ricerche Aerospaziali (CIRA). Ha conseguito

una Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni presso l'Università "Federico II" di Napoli (2004) ed un Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione presso l'Università di Napoli "Parthenope" (2015). È coinvolto in diversi progetti nazionali ed internazionali per lo sviluppo di algoritmi e sistemi GNC per velivoli aerospaziali *Manned* e *Unmanned*. Tra gli ambiti in cui opera maggiormente vi sono: *Generazione Autonoma di Traiettorie*, *Controllo Robusto/Adattivo*, *Diagnostica di Fault* e *riconfigurazione dei sistemi GNC*, *Analisi di Meccanica del Volo* con particolare riferimento ai sistemi futuri di accesso allo spazio e rientro in atmosfera.

È coautore di circa 40 pubblicazioni in riviste, atti di conferenze e capitoli di libri ed è membro del "Editorial Board - *American Journal of Engineering and Applied Sciences*" e della Commissione Aerospaziale dell'Ordine degli Ingegneri di Napoli nonché cultore della materia presso l'Università e Campus nel settore Telecomunicazioni e Automazione. È attualmente segretario della sezione ANPRI del CIRA e membro del Consiglio Direttivo dell'ANPRI.

Contatti:

e-mail: g.morani@cira.it.

C'È UN PROBLEMA DI INIQUITÀ NEL DDL 988 SULL'AGRICOLTURA BIOLOGICA?

Sergio Saia

Riassunto

Recentemente è passato al Senato il cosiddetto DDL sul biologico o più correttamente il “Disegno di legge - Atto Senato n. 988 - XVIII Legislatura” recante “Disposizioni per la tutela, lo sviluppo e la competitività della produzione agricola, agroalimentare e dell’acquacoltura con metodo biologico” (http://www.senato.it/leg/18/BGT/Schede/Ddliter/testi/51061_testi.htm). Il DDL è adesso al vaglio della Camera, che dovrà decidere se approvarlo tal quale o con eventuali emendamenti o rigettarlo.

Il DDL ha sollevato non poche critiche da parte della comunità scientifica del settore per alcuni aspetti di iniquità palesemente riportati nello stesso. Come atteso quando tali argomenti vengono trattati dal grande pubblico, purtroppo, la disinformazione ha dominato la scena mediatica. La definizione tal quale del DDL è stata difesa a spada tratta da diversi politici e personalità in forte conflitto d’interesse, spesso travisando, probabilmente volutamente, le evidenze scientifiche e la necessità di definire una norma che tratti equamente tutti i professionisti della filiera agro-alimentare e agro-industriale, ivi inclusi quelli che si occupano di import-export.

In questo articolo chiarirò brevemente le evidenze scientifiche sul settore biologico e sulle peculiarità della cosiddetta “agricoltura biodinamica”, citata esplicitamente nella legge, e sottolineerò i serissimi problemi normativi che potrebbero sorgere dall’approvazione tal quale del DDL.

Abstract

Recently, the higher house (Senate of the Republic) of Italy approved the bill (in Italian: DDL) on the organic agriculture and products sector (in Italian: http://www.senato.it/leg/18/BGT/Schede/Ddliter/testi/51061_testi.htm). The Bill is presently under the evaluation process by the lower house (Chamber of Deputies) which should decide if to approve it, moving amendments or voting against it.

The scientific community dealing with these issues posed serious concerns on some aspects in the Bill bringing unfairness in the sectors. These issues are treated on the mass media with lot of disinformation and fake news, as unluckily usual in Italy.

However, the Bill is being upheld by many politicians and various well-known figures bearing conflict of interest, usually acting as denials of the scientific evidence. Most of these figures deliberately ignore the need to establish a fair regulation on the regards of the workers of the sector, including those acting on the import-export.

Here I briefly clarify the scientific evidence on the performance and sustainability of the organic agriculture, explain the “peculiarities” of the so-called biodynamic agriculture, which is distinctly cited in the Bill, and underline the serious regulation problems that may arise from the approval of the bill as it is.

Parole chiave: biologico, legislazione, deroghe, consumatore, ricerca scientifica, finanziamento.

Keywords: Organic, Legislation, Dispensation, Consumer, Scientific Research, Funding.

1. L’agricoltura dopo la seconda guerra mondiale

Per comprendere appieno la nascita, evoluzione e applicazione della normativa riguardante l’agricoltura biologica, è bene richiamare brevemente cosa è accaduto dopo la Seconda guerra mondiale. In breve, gli investimenti in agricoltura sono molto aumentati e l’applicazione di composti di sintesi e meccanizzazione ha provocato profondi cambiamenti agro-ambientali. In particolare, l’uso di fertilizzanti di sintesi ha consentito di soddisfare con relativa semplicità le esigenze nutrizionali delle colture, l’uso dei principi attivi di sintesi ha consentito di ridurre drasticamen-

te la pressione da parte delle malerbe, degli insetti infestanti e dei patogeni, soprattutto funghi. Infine, l’arrivo di motori potenti in agricoltura ha consentito di lavorare i suoli a profondità mai viste prima (ossia diverse decine di centimetri) facendo in modo che i nutrienti contenuti nella sostanza organica fossero rapidamente liberati e mettendoli a disposizione, nel breve termine, delle colture. Inoltre, la ricerca in genetica agraria ha consentito di selezionare genotipi con elevato potenziale produttivo nei diversi contesti pedoclimatici. Questi tre aspetti (genetica, composti di sintesi e potenze meccaniche) hanno incrementato enormemente la produttività e permesso la coltivazio-

ne di terreni prima non adibiti a questo uso (i pascoli, prevalentemente, e le foreste). L'aumento della produttività su scala globale è stato vertiginoso, al punto che la percentuale di persone denutrite si è ridotta enormemente nonostante un parallelo aumento della popolazione mondiale (pressappoco triplicata negli ultimi 100 anni).

L'applicazione di tali tecnologie ha anche avuto effetti controproducenti sull'ambiente. Tali impatti sono molteplici ed erroneamente alcuni sono stati considerati più importanti di altri.

È da considerare, però, che gli studi di impatto ambientale e la sensibilità necessaria per evitare ciò erano, ai tempi, ben lungi dall'esistere, mentre era notevole la pressione sui legislatori affinché intervenissero per far fronte alle necessità alimentari della popolazione mondiale in rapida crescita.

L'impatto maggiore è stato dovuto al cambio d'uso del suolo e alla riduzione della diversificazione colturale, i cui benefici in termini di stabilità produttiva sono stati compensati dall'uso delle tre tecnologie sopra citate. Le lavorazioni hanno inoltre causato una fortissima erosione del suolo, innescando i gravi problemi di dissesto idrogeologico che oggi viviamo, ai quali hanno contribuito le costruzioni di manufatti per altri usi (strade, edifici, etc.).

I problemi agronomici causati dall'omogeneizzazione dei paesaggi (in altri termini, coltivare ovunque e sempre le stesse specie vegetali) sono stati affrontati con le lavorazioni e l'applicazione di fertilizzanti e principi attivi di sintesi. L'applicazione smodata, ben al di sopra delle esigenze colturali, di fertilizzanti e principi attivi di sintesi ha comportato problemi di rilascio ambientale. L'ambiente naturale (falde acqui-

fere, fiumi, laghi, mare, suoli con altri usi, etc.) non si è evoluto in condizioni di elevata disponibilità di nutrienti minerali e ha reagito al rilascio dei fertilizzanti in eccesso con una sovrapproduzione delle componenti vegetali, soprattutto la biomassa algale. Ciò ha letteralmente squilibrato i rapporti tra gli organismi. Nel caso dei principi attivi, inoltre, quelli usati erano molto persistenti e gli stessi si sono accumulati nella catena trofica, generando problemi di salute in diverse componenti animali marine, terrestri e dell'aria, sia alla base della rete alimentare (es. i crostacei e gli insetti), sia nelle porzioni più distali (es. i grandi volatili rapaci e i pesci predatori). Un lettore disattento, stante l'attuale descrizione, levrebbe gli scudi contro l'applicazione di tali composti, magari ritenendoli gli unici promotori della degradazione ambientale e commettendo così un gravissimo errore di valutazione. Vanno infatti sottolineati, prima di proseguire, due aspetti fondamentali del dibattito storico: il primo è che qualunque sistema, nel dopoguerra, aveva efficienze e sostenibilità bassissime rispetto a quelli attuali. Ciò vale per la produzione di corrente elettrica, dei riscaldamenti domestici, della produzione industriale, del trasporto pubblico e privato, della gestione dei rifiuti, etc. In tutti i settori, agricoli o meno, con il tempo è arrivata una normativa che, di pari passo con il progredire delle conoscenze scientifiche, ha promosso in maniera incisiva l'aumento di sostenibilità ed efficienza. Il secondo aspetto da non trascurare è che la colpa non è mai dell'oggetto, ma dell'utilizzatore. L'uso massivo di dette tecnologie è stato dovuto da un canto alle pressanti esigenze del momento (sfamare la popolazione mondiale in rapida crescita) e dall'altro alla carenza di studi e sensibilità ambientali. Oggi non

L'impatto ambientale dell'Agricoltura biologica per unità di prodotto (rapporto tra Bio e Convenzionale) a scala globale (742 sistemi, 90 prodotti diversi)

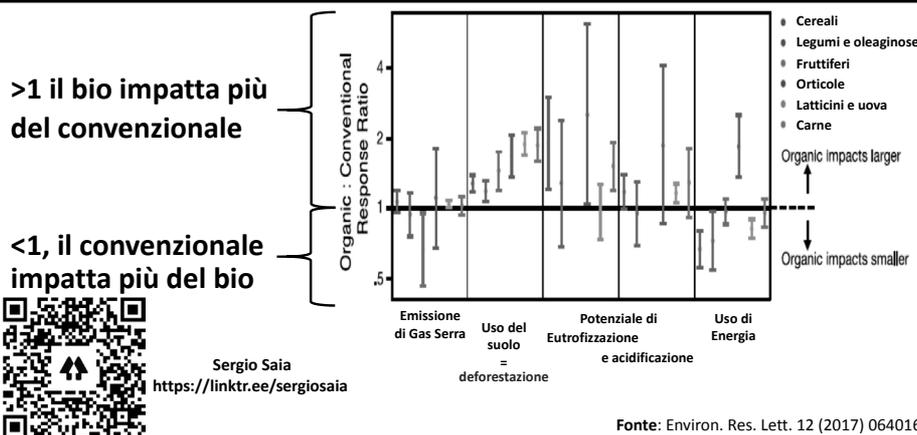


Fig. 1. Impatto ambientale dell'agricoltura biologica rispetto all'agricoltura convenzionale per cinque indicatori principali. Le barre rappresentano la variazione di tale rapporto ottenuto dalle sperimentazioni sul tema al momento della pubblicazione della fonte.

ha senso recriminare sul passato, tanto più che, come vedremo, i governi dei paesi industrializzati hanno messo in essere una legislazione che ha profondamente imparato da tali errori.

2. L'agricoltura biologica: com'è e come "funziona"

In seno a tali errori di valutazione è nata l'agricoltura biologica. Già alla fine degli anni '40, in diverse parti del mondo e principalmente in Svizzera, Inghilterra e Germania, i problemi di cui sopra sono stati attribuiti pressappoco esclusivamente ai composti di sintesi, ritenuti qualcosa di "non naturale" nel panorama mondiale e in quanto tale ritenuti "dannosi". Non sono invece stati attribuiti alle lavorazioni del suolo o alla genetica. Alla genetica, in effetti, non è possibile muovere accuse, in quanto non è mai emerso alcun problema dovuto all'uso alimentare di nuovi genotipi ivi inclusi gli Organismi Geneticamente Modificati (de Vos & Swanenburg, 2018; Smyth, 2020), con buona pace dei lettori meno informati, ma le lavorazioni applicate nel dopoguerra erano completamente diverse da quelle precedentemente in uso. In passato le lavorazioni, effettuate manualmente o grazie alla forza lavoro animale, erano decisamente superficiali, raramente si lavorava oltre i 10 cm di profondità. Lavorare il terreno a 40-60 cm o anche maggiore profondità ha invece distrutto completamente le comunità telluriche (lombrichi, piccoli mammiferi, lucertole, microrganismi, microfauna, etc.) e il loro "pabulum" principale, ossia la sostanza organica stabile, comportando al contempo un elevatissimo impatto ambientale dovuto alle emissioni di gas serra¹ dal suolo. Così facendo, è stato ovviamente distrutto anche l'habitat di moltissimi organismi naturali che predavano le specie coltivate.

I sistemi biologici messi in essere come reazione ai problemi sopra descritti hanno quindi bandito l'uso dei composti di sintesi sia fertilizzanti, sia principi attivi. Ma parimenti, non si sono sincerati degli impatti dei principi attivi naturali e delle lavorazioni, seppure entrambi provocassero forti impatti ambientali e, indirettamente, per la salute.

2.1. Cos'è accaduto quando non sono più stati usati i fertilizzanti e i principi attivi di sintesi?

Venendo meno i benefici di tali presidi nella nutrizione vegetale e nel contenimento degli stress biotici, la resa si è ovviamente abbassata enormemente nei sistemi biologici rispetto alle controparti convenzionali. La ricerca scientifica ha indicato abbastanza presto che la riduzione di tale divario produttivo poteva

essere affrontata, ancorché solo parzialmente, attraverso una forte diversificazione dei sistemi colturali e in particolare l'introduzione o reintroduzione della componente animale (ossia gli allevamenti, che permettevano la coltivazione delle foraggere e fornivano il letame) e aumentando l'ampiezza delle rotazioni, includendo in esse spesso le leguminose, che seppur poco produttive rispetto ai cereali sono autonome per il soddisfacimento dei propri bisogni azotati². I sistemi biologici hanno quindi dovuto essere più diversificati dei sistemi non biologici. Non sempre, tuttavia, gli agricoltori biologici erano e sono in grado di gestire tale diversificazione e ciò ha comportato, nei sistemi biologici mal gestiti, fortissime riduzioni di resa. Peraltro, quando i sistemi convenzionali vengono diversificati, anche questi acquisiscono maggiore resa, per cui a parità di diversificazione, la resa in biologico è decisamente inferiore, con riduzioni di pochi punti percentuali nella migliore delle ipotesi (es. colture poco produttive) a riduzioni dal 25 al 75% per le colture estensive che forniscono la maggior parte di calorie per l'alimentazione umana e animale (Seufert, Ramankutty, & Foley, 2012).

Nonostante ciò, per molti decenni è passato il messaggio che l'applicazione in sé dei fertilizzanti e principi attivi di sintesi facesse male ai consumatori a prescindere dalla quantità assunta e che i sistemi biologici fornissero alimenti più salubri. Nella realtà, ciò non è mai accaduto, in quanto nei sistemi biologici e in particolare in ambienti umidi l'incidenza delle micotossine è molto più elevata rispetto ai sistemi convenzionali, nei quali i funghi produttori di micotossine sono efficientemente controllati dai principi attivi di sintesi. Purtroppo, le micotossine pongono più rischi di moltissimi principi attivi attualmente utilizzati³. Ma il consumatore dei paesi più ricchi, ormai, nell'arco dei decenni, aveva acquisito una forte disponibilità a pagare prezzi più alti per i prodotti biologici, per cui, a fronte delle minori rese unitarie di questi, l'agricoltore biologico poteva acquisire un fatturato analogo o anche superiore. Si noti che, negli ambienti in cui la produttività potenziale è limitata per cause ambientali (come gli ambienti caldo-aridi), i sistemi biologici hanno perdite di rese rispetto ai convenzionali più contenute di quanto non si rinvenga in ambienti temperato-umidi. Ovviamente, la legislazione attuale nei paesi industrializzati ha fissato residui massimi ammessi sia di composti naturali, sia di sintesi, rispettando i quali non sussiste alcun rischio concreto per la salute dei consumatori, come già spiegato nella nota 3.

I sistemi biologici stavano cominciando a diffondersi, ma non vi era, fino agli anni '90, una normativa europea di riferimento. Ciò poneva un serio problema

di rapporto tra produttore e consumatore, in quanto il primo poteva, senza problemi, produrre utilizzando prodotti di sintesi e sostenere che il proprio prodotto fosse biologico. Successivamente, tale normativa è stata varata in accordo alla prassi di non usare principi attivi e fertilizzanti di sintesi, creando apposite liste di pratiche e prodotti ammessi (talvolta anche di sintesi, come i feromoni) e mettendo in essere un sistema di certificazione del processo. Ovviamente, sono stati lasciati ampi margini operativi agli agricoltori, ai trasformatori e agli importatori, i quali dovevano rispettare accordi di equivalenza tra sistemi biologici che non opportunamente soggiacevano alla stessa normativa.

Va quindi sottolineato che l'agricoltura biologica è solamente una certificazione pubblica di processo e tale processo non assicura in alcun modo una maggiore sostenibilità o salubrità dei prodotti, come ampiamente dimostrato raccogliendo tutte le analisi di confronto nel settore con metodi scientificamente ammissibili, ergo, epurati dai fattori confondenti e soprattutto dalla percezione personale⁴. Nonostante l'assenza di tali benefici, il legislatore ha riconosciuto a tali sistemi di produzione un maggior aiuto europeo.

Anche in questo caso, va compresa la ragione di tale scelta. La Politica Agricola Comunitaria (PAC o CAP in inglese) prevede un sostegno economico ai produttori. Tale sostegno dipende da molti fattori e i sistemi biologici ricevono una quota aggiuntiva di sostegno rispetto alle controparti convenzionali. Il maggior sostegno ai sistemi biologici ha consentito di mantenere attivi settori produttivi agricoli (e le relative filiere) in aree dove la produttività è contenuta, con benefici sociali legati al mantenimento delle popolazioni e salvaguardia ambientale. Senza la PAC, comunque, pochissimi sistemi agricoli europei – convenzionali e non – riuscirebbero a competere per redditività con quelli esteri.

Per concludere, non c'è quindi altro modo di definire l'agricoltura biologica se non come certificazione pubblica di processo, dal momento che le pratiche ammesse in biologico e in convenzionale sono mutevoli con il tempo e non esiste alcuna indicazione che esista una differenza netta di sostenibilità tra i due sistemi. Va comunque sottolineato che la minor resa del biologico porta, volenti o nolenti, a una maggiore coltivazione di superfici per soddisfare un determinato bisogno alimentare e quindi a un maggior disboscamento.

3. L'agricoltura biodinamica

È bene chiarire fin dall'inizio che "agricoltura

biodinamica" e "agricoltura biologica" sono cose diverse, per quanto molti agricoltori, che sostengono di produrre in biodinamico, abbiano una certificazione biologica.

La biodinamica (quindi senza indicare solamente una forma di agricoltura) è una corrente di pensiero, teorizzata da un pensatore, Rudolf Steiner, vissuto a cavallo tra il XIX e il XX secolo. Steiner, sebbene avesse seguito qualche corso universitario senza pur laurearsi, ha preferito abbandonare del tutto le evidenze scientifiche e creare un sistema di pensiero di tipo religioso/settario imperniato sulla teosofia e sull'esoterismo.

Nell'ambito di tale attività di pensiero, Steiner ha teorizzato sistemi di insegnamento e di cura, ha consigliato ai suoi seguaci di non fidarsi dei vaccini e altri farmaci e ha definito un sistema di agricoltura, detto appunto "agricoltura biodinamica". Va detto che, sebbene sia morto prima dell'avvento del regime nazista, le sue idee sono state ben accolte in seno alle politiche naziste. Ovviamente ciò non è certo per via di Steiner. Inoltre, il regime nazista ha avuto rapporti controversi con i suoi seguaci, i quali comunque hanno continuato a sviluppare ed applicare le idee del proprio caposcuola in diversi ambiti.

L'agricoltura biodinamica di Steiner non differiva dai sistemi agricoli che lo stesso aveva conosciuto, normali sistemi di sussistenza di quel periodo. Ma Steiner si oppose all'applicazione dei primi composti di sintesi già disponibili ai tempi. Al sistema descritto, Steiner ha associato l'applicazione di composti in dosi omeopatiche e di pratiche del tutto fantasiose (come la presenza delle cosiddette "azioni sottili" o dei "campi morfici", la cui esistenza non è mai stata dimostrata, né esiste alcun indizio delle stesse), sostenendo che ciò legasse le forze cosmiche alla produzione agricola con l'effetto di proteggere dagli stress piante coltivate e animali allevati. Di queste peculiarità, ossia degli aspetti che non è possibile ritrovare in altri sistemi, non esiste, ovviamente, alcuna evidenza scientifica circa l'esistenza o l'efficacia. Quanto non è peculiare dei sistemi biodinamici (es. le rotazioni) esisteva già diversi secoli prima di Steiner ed è applicato anche altrove e non può certo essere attribuito all'esoterista austriaco.

Una statistica esatta degli agricoltori che a scala globale adottano le prescrizioni della cosiddetta agricoltura biodinamica non esiste⁵. Di fatto, la stessa agricoltura biodinamica non è definita se non arbitrariamente da chiunque voglia e molti agricoltori sostengono di applicarla senza una certificazione privata e senza che vi sia una normativa pubblica di definizione del processo. Storicamente una multinazionale si è occupata di rilasciare una certificazione privata di processo, secondo i propri dettami, arbitrariamente

scelti da quanto scritto da Steiner o reinterpretati a piacimento⁶. Ma la stessa non ha neppure potuto depositare il marchio “biodinamica” in Europa in quanto già depositato da altri per scopi diversi dalla produzione di alimenti⁷. La stessa multinazionale ha anche presentato nel 2008, senza esiti, una “*opposition*” all’ufficio per la proprietà intellettuale dell’UE per “possibile confusione”⁸. Recentemente, nel panorama nazionale italiano, altre associazioni oltre alla storica di cui sopra hanno iniziato a certificare privatamente sistemi di agricoltura biodinamica. Negli Stati Uniti d’America (USA) il marchio “Biodynamic®”⁹ è invece registrato da una multinazionale, facendo sì che i sistemi che portano tale nome possano essere, quindi, certificati soltanto da essa e nei modi prescritti dalle leggi vigenti in quel territorio.

Ovviamente, qualora i sistemi di agricoltura biodinamica rispettino le regole dell’agricoltura biologica e ne abbiano anche la relativa certificazione pubblica, sono a tutti gli effetti sistemi biologici, indistinguibili da questi se non per l’applicazione dei cosiddetti preparati biodinamici¹⁰. Come detto, l’applicazione di tali preparati secondo le modalità e quantità previste in biodinamica non ha alcun effetto sperimentalmente dimostrato sulle colture, tuttavia, l’ottenimento degli stessi preparati e la loro distribuzione comportano un impatto ambientale (a fronte, è bene ribadirlo, di nessun beneficio). Anche l’esistenza stessa della certificazione privata comporta, ovviamente, un impatto ambientale. Da questo punto di vista, i sistemi biodinamici sicuramente non possono essere più sostenibili di omologhi sistemi non biodinamici, identici per gli altri aspetti, ove non vengono applicati i preparati.

Infine, è curioso come alcune certificazioni biodinamiche prevedono il divieto di uso di determinati genotipi vegetali e in particolare gli ibridi, ma ciò non vale per ibridi di mais, che vengono ammessi, e per i genotipi artificiali, come il tritcale (un ibrido tra frumento e segale), creato dall’uomo grazie all’applicazione di biotecnologie. Gli ibridi e il tritcale sono ammessi in biologico dalla normativa pubblica.

Non esiste nemmeno alcuna struttura pubblica di raccordo che definisca l’agricoltura o i prodotti biodinamici.

Ovviamente, i fautori del biodinamico sostengono che l’agricoltura biodinamica di stampo steineriano abbia fatto da precursore all’agricoltura biologica. Nei fatti, già nel 1924 Steiner aveva parlato di agricoltura (e di tanti altri argomenti, tra cui la medicina e l’insegnamento) ma i principi fondativi del biodinamico non hanno avuto analogia ispirazione di quelli del biologico. Nei fatti, Steiner ha cercato di fondare una struttura religiosa attraverso l’enucleazione di dogmi, che in quanto tali sono arbitrari, e il rifiuto delle evidenze

scientifiche per cercare di distinguere il suo metodo (detto “antroposofia”) dalla teosofia e dall’esoterismo da cui è nato. I fautori del biologico, anche negli anni ‘40, non hanno mai negato l’efficacia dei principi attivi di sintesi e dei fertilizzanti rispettivamente nel contenere gli stress biotici e nel supportare la nutrizione delle piante coltivate. Hanno solo attribuito a questi presidi un impatto negativo, a prescindere dalle quantità e modi di applicazione (il che, come già detto, non è corretto) rinunciando all’impatto positivo degli stessi (l’aumento delle rese, il contenimento dei funghi che producono micotossine, etc.). Inoltre, chi ha teorizzato il biologico non ha mai asserito l’esistenza di forze cosmiche o la necessità di applicare composti in dosi omeopatiche.

4. I dilemmi e l’iniquità del DDL 988: quando la legge è uguale per tutti ma per qualcuno è più uguale che per gli altri

Il DDL988 presenta diversi punti critici e di iniquità.

In primis, cita in maniera esplicita il biodinamico, conferendo a questo un’equivalenza con il biologico. Tale citazione è fatta in più punti dell’art. 1 c.3 come segue dalla relazione¹¹ “***Sono a tal fine equiparati il metodo dell’agricoltura biodinamica ed i metodi che, avendone fatta richiesta secondo le procedure fissate dal Ministro delle politiche agricole alimentari e forestali con apposito decreto, prevedono il rispetto delle disposizioni di cui al primo periodo***”.

Tuttavia, non esiste una definizione normata di “biodinamico”, senza contare che la norma, tal quale, lascia adito a un problema con i soggetti esteri detentori del marchio. La norma, infatti, regola anche trasformazione e commercializzazione, ivi incluso l’import. Come già presentato, questo fa sì che venga, *de facto*, offerta una importazione preferenziale a un privato.

Inoltre, non appare chiaro se qualcuno, in ambito di agricoltura biodinamica, abbia già fatto richiesta di equiparazione o se per il biodinamico questa equiparazione sia di *default* mentre per eventuali altri sistemi no.

Ovviamente, non va negata l’esigenza di normare il nome. La comune radice “bio-” trae infatti in inganno il consumatore e quindi imporre una certificazione biologica a chi si chiama “biodinamico” potrebbe non essere sbagliato. Ma in tal caso, non serve citare il metodo nella legge, bensì istituire in seno ad essa un comitato di controllo per poter dare un dato nome a una certificazione privata aggiuntiva a quella pubblica. Un problema analogo esisterebbe se si affacciassero sul

mercato nuovi metodi che non chiedono l'equiparazione al biologico e che si fanno chiamare, a titolo di esempio "bioolistico, biosistemico, bioarmonico, bio-naturale, etc". La legislazione sulla liceità nell'attribuire i nomi esiste già per altri comparti dell'agricoltura (es. per il rilascio di nuove cultivar) e non è complessa.

I problemi della legge si acquisiscono ulteriormente all' "Art. 5 c.3"¹² nel quale viene presentata la struttura del tavolo tecnico: "3. *Il Tavolo tecnico è costituito da... -omissis- ... da un rappresentante per ciascuna delle associazioni maggiormente rappresentative nell'ambito della produzione biologica e da un rappresentante delle associazioni maggiormente rappresentative nell'ambito della produzione agricola, agroalimentare e dell'acquacoltura con metodo biodinamica ...-omissis- ...I componenti del Tavolo tecnico restano in carica tre anni e possono essere riconfermati.*"

Non è spiegato per quale ragione una certificazione privata (il biodinamico) equiparata alla certificazione pubblica (il biologico) in seno a un DDL che permette, come è giusto che sia, una equiparazione di altri metodi, debba ricevere una posizione dedicata al tavolo tecnico, in aggiunta al rappresentante di settore, di fatto discriminando tutte le aziende biologiche non biodinamiche che avrebbero solamente il rappresentante di settore.

Per fare una metafora, ciò corrisponderebbe a dare al tavolo tecnico della legge per la sicurezza delle automobili una posizione al rappresentante di settore e in aggiunta un'altra posizione esclusiva a un rappresentante di una singola casa automobilistica. Ovviamente, il rappresentante della singola casa avrebbe tutto l'interesse alla definizione di criteri di propria convenienza (ma si confronti il comma 4 dello stesso articolo per comprendere quale potere viene dato a una certificazione privata).

Il termine "biodinamica" compare nuovamente nell' "Art. 8 c.1": "1. *Il Ministro, entro sei mesi dalla data di entrata in vigore della presente legge ...-omissis- ...adotta con decreto un piano nazionale per le sementi biologiche finalizzato ad aumentare la disponibilità delle sementi stesse per le aziende e a migliorarne l'aspetto quantitativo e qualitativo con riferimento a varietà adatte all'agricoltura biologica e biodinamica*"¹³. Si noti che il legislatore, con questa norma, apre a una sperimentazione dedicata alle condizioni di determinati produttori privati e non di tutto il comparto¹⁴. Infine, va notato che il summenzionato Art. 8 c.1 non prevede che, qualora altri metodi facciano richiesta di equiparazione e la ottengano in accordo all'art. 1 c.3, ai richiedenti debba andare una posizione al tavolo tecnico o debbano essere destinati fondi di ricerca per le proprie esigenze.

In proposito, va anche fatto notare che l'onorevole

Maria Chiara Gadda, prima firmataria del DDL988, in una intervista a una testata giornalistica on line¹⁵, rilanciata dalla pagina Facebook della deputata¹⁶, ha sostenuto che non vi sia alcun finanziamento del biodinamico in più rispetto al biologico il che, dalla norma, non appare evidente.

Il problema del finanziamento pubblico in favore degli interessi di alcuni privati non è purtroppo nuovo in agricoltura.

Già il precedente bando di ricerca del MIPAAF "2020_10_08_n._9220340" viene indicato:

- "la costituzione di un Comitato permanente di coordinamento per la ricerca in agricoltura biologica e biodinamica e che individua le "Tematiche prioritarie di Ricerca e Innovazione in agricoltura biologica e biodinamica" "(pag. 3);
- "I progetti di ricerca devono altresì tendere al consolidamento ed allo sviluppo del settore dell'agricoltura biologica attraverso un approccio di tipo "multi-attoriale", con il coinvolgimento obbligatorio, sin dall'inizio delle attività progettuali, di almeno una azienda agricola biologica o biodinamica, al fine di consentire l'applicazione concreta dei risultati della ricerca alla realtà produttiva, e favorendo il coinvolgimento di una Associazione che abbia finalità di ricerca in agricoltura" (pag. 5).

E nell'allegato tecnico dello stesso bando viene detto:

- "Nelle aziende biodinamiche si fa esclusivo ricorso ai cosiddetti 'preparati biodinamici' evitando, di fatto, il ricorso ai mezzi tecnici pur ammessi in agricoltura biologica" il che, come presentato, è falso.
- "Preparati biodinamici: il progetto deve verificare il ruolo dei preparati biodinamici al di fuori dell'approccio sistemico ed olistico dell'azienda biodinamica, al fine di ridurre l'impiego di mezzi tecnici ammessi dalla normativa nelle aziende biologiche" il che, come è lapalissiano, è quantomeno surreale, visto che è già provato che non abbiano effetto; inoltre, non si capisce perché testare preparati la cui definizione non è chiara (chiunque può fare un preparato e chiamarlo biodinamico) e farlo con fondi pubblici.

Il DDL, appunto, chiama in ballo i preparati biodinamici, ma non chiarisce se i suddetti preparati (qualunque sia la loro definizione) devono sottostare a tutte le norme per l'iscrizione dei prodotti ammessi in biologico o meno. Se sì, non c'è ragione di citarli nella legge senza citare tutti gli altri composti ammessi. Se no, ciò aprirebbe all'uso, in agricoltura biologica, di

qualunque prodotto che venga definito, in modo del tutto arbitrario, biodinamico.

4.1. *Gli emendamenti ignorati e la scienza bistrattata*

Tali seri problemi sono stati evidenziati dall'unico voto contrario all'approvazione della norma, quello della senatrice a vita prof.ssa Elena Cattaneo. Prima del voto, durante la discussione in aula, la senatrice aveva proposto degli emendamenti¹⁷ finalizzati a rimuovere i problemi stessi e ristabilire i principi di equità della norma. Gli stessi emendamenti sono stati ignorati. Nonostante ciò, la reazione della comunità scientifica di settore, attraverso le società scientifiche più rappresentative, ha sottolineato in maniera chiara che tali aspetti non sono auspicabili, consigliando anche alla Camera dei Deputati di prenderne atto¹⁸, concludendo il proprio parere con la seguente dichiarazione *“Siamo consci del fatto che l'agricoltura biodinamica è una realtà economica. Riteniamo tuttavia che inserirla in una legge dello Stato equivalga a fornirle un avallo. Questo è per la comunità scientifica inaccettabile, soprattutto in un periodo in cui in tutto il mondo la Scienza viene ascoltata con particolare attenzione dai decisori politici”*.

5. Conclusioni

Come è possibile notare da quanto detto, il problema dell'avallo non riguarda in alcun modo i principi esoterici dell'agricoltura biodinamica. Ovviamente ogni agricoltore è libero di credere che siano non meglio definite “azioni sottili”, “campi morfici” o l'applicazione di prodotti omeopatici a supportare la sua produzione. Non è tuttavia ammissibile che lo Stato, come indicato dall'art. 8 del DDL988, avalli un determinato metodo privato, a prescindere dalle credenze di cui questo si fa latore, con una citazione esplicita e fornendo loro un rappresentante dedicato e indirizzando la ricerca scientifica (finanziata con fondi pubblici) alle loro realtà,

Ovviamente, dopo l'eventuale approvazione definitiva della legge (ricordiamo che il DDL deve ancora essere esaminato dalla Camera), esiste un iter istituzionale complesso, che passa per i decreti attuativi e altre norme correlate. Queste dovrebbero prevedere un intervento del legislatore sulla definizione di “biodinamico” affinché la legge mostri l'equità necessaria. Tuttavia, non potrebbe intervenire sulla definizione depositata all'estero e una definizione pubblica del metodo potrebbe collidere alquanto con il marchio depositato, per altri usi, in sede europea, il quale potrebbe riconoscere una prelazione d'uso del termine.

Tale DDL presenta quindi, a mio avviso, una criti-

ca e un eventuale grave precedente nella legislazione italiana. Lo stesso DDL potrebbe essere considerato incostituzionale o portare a problemi di attuazione della norma qualora nuove certificazioni equiparabili si affaccino sul mercato. E in particolare, stante l'esistenza di diversi enti di certificazione per il biologico, sarebbe molto probabile che un ente costruisse una certificazione ad hoc, solo leggermente più restrittiva del biologico (es. vietando un composto comunque inutilizzato in Italia) per poter sedere al tavolo tecnico di settore e richiedere ricerche specifiche per le condizioni dei propri associati.

Tale legge rappresenta, stante la sua configurazione attuale, una potenziale discriminazione tra gli agricoltori biologici.

Probabilmente il DDL sarebbe accettabile se si togliesse ogni riferimento all'agricoltura biodinamica, come anche proposto negli emendamenti.

Dichiarazione di conflitto d'interesse

Generalmente, quando scrivo o dico quanto sopra, vengo accusato di essere un detrattore dell'agricoltura biologica o delle certificazioni private. Voglio fugare ogni dubbio: non sono un detrattore dell'attività privata né dell'agricoltura biologica. Tantomeno ho alcun conflitto d'interessi. Ironicamente, la mia attività di ricerca va a beneficio quasi esclusivo dei sistemi biologici e in passato, come accennato, ho prestato la mia attività intellettuale anche in progetti finanziati da aziende biodinamiche. Invito in particolare alla lettura delle mie attività di ricerca nella sezione “Breve curriculum”. È facile comprendere che queste attività di ricerca vanno a beneficio quasi esclusivo del biologico e del biodinamico e interessano solo indirettamente e marginalmente i sistemi cosiddetti convenzionali, ossia quelli senza certificazione biologica. Ovviamente, è tra i miei interessi lo studio dei fenomeni che portano alla resistenza o tolleranza nei confronti degli stress per le piante, al fine di migliorare tutto il sistema agricolo per quanto riguarda la sua sostenibilità ambientale ed economica. Come professore associato, presto infatti la mia attività intellettuale a prescindere da chi beneficerà in maniera immediata dei risultati, come nel caso degli agricoltori biologici, o dopo eventuali ulteriori ricerche, come gli agricoltori convenzionali. Tuttavia, quale membro della comunità accademica italiana, è mio dovere riportare le evidenze scientifiche nel settore, a prescindere dalla mia attività di ricerca e da mie eventuali preferenze personali e nei fatti le mie critiche nei confronti dei metodi con certificazioni biologiche o che si definiscono biodinamici sono appunto fondate su tali evidenze scientifiche.

Bibliografia

- Barański, M., Rempelos, L., Iversen, P. O., & Leifert, C. (2017). Effects of organic food consumption on human health; the jury is still out! *Food & Nutrition Research*, 61(1), 1287333. <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1287333>.
- Barbieri, P., Pellerin, S., Seufert, V., Smith, L., Ramankutty, N., & Nesme, T. (2021). Global option space for organic agriculture is delimited by nitrogen availability. *Nature Food*, 2(5), 363-372. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00276-y>.
- Clark, M., & Tilman, D. (2017). Comparative analysis of environmental impacts of agricultural production systems, agricultural input efficiency, and food choice. *Environmental Research Letters*, 12(6), 064016. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa6cd5>.
- de Vos, C. J., & Swanenburg, M. (2018). Health effects of feeding genetically modified (GM) crops to livestock animals: A review. *Food and Chemical Toxicology*, 117, 3-12. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.08.031>.
- Knapp, S., & van der Heijden, M. G. A. (2018). A global meta-analysis of yield stability in organic and conservation agriculture. *Nature Communications*, 9(1), 3632. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05956-1>.
- Mie, A., Andersen, H. R., Gunnarsson, S., Kahl, J., Kesse-Guyot, E., Rembiałkowska, E., ... Grandjean, P. (2017). Human health implications of organic food and organic agriculture: a comprehensive review. *Environmental Health*, 16(1), 111. <https://doi.org/10.1186/s12940-017-0315-4>.
- Paull, J., & Hennig, B. (2020). A World Map of Biodynamic Agriculture. *Agricultural and Biological Sciences Journal*, 6(2), 114-119.
- Seufert, V., Ramankutty, N., & Foley, J. A. (2012). Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*, 485(7397), 229-232. <https://doi.org/10.1038/nature11069>.
- Smyth, S. J. (2020). The human health benefits from GM crops. *Plant Biotechnology Journal*, 18(4), 887-888. <https://doi.org/10.1111/pbi.13261>.
- Średnicka-Tober, D., Barański, M., Seal, C., Sanderson, R., Benbrook, C., Steinshamn, H., ... Leifert, C. (2016). Composition differences between organic and conventional meat: a systematic literature review and meta-analysis. *British Journal of Nutrition*, 115(06), 994-1011. <https://doi.org/10.1017/S0007114515005073>.
- Tuomisto, H. L., Hodge, I. D., Riordan, P., & Macdonald, D. W. (2012). Does organic farming reduce environmental impacts? - A meta-analysis of European research. *Journal of Environmental Management*, 112, 309-320. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.08.018>.
- il batterio in coltura. Si noti, in proposito, che l'introduzione dello stesso batterio comporta un'alterazione dell'ecosistema. Ad ogni modo, la pratica è permessa in biologico.
- ³ In questa sede, con "rischi" si intende rischi per la salute. Questi sono stati studiati in molteplici contesti, per molti residui e in condizioni in vitro e in vivo, sia su cavie (su prove con misura esatta dell'esposizione e controlli in purezza), sia su uomo (rilievi di popolazione). Da tali studi vengono fissati i limiti di esposizione (indicati in quantità per kg di peso vivo dell'animale o dell'uomo) al di sotto dei quali non è più possibile rilevare un effetto sull'organismo. Tali studi vengono poi utilizzati per fissare la concentrazione massima di legge nei cibi (indicata in quantità per kg di prodotto edule). Per far ciò, si considera un peso relativamente basso dell'uomo, un consumo lauto di prodotto e la quantità corrispondente al predetto *No Observable Adverse Effect Level* (NOAEL) viene divisa per 100 o 1000 (in funzione dell'analisi) per maggiore sicurezza. In sintesi, anche mangiando 100 volte tanto il normale (ogni giorno, sempre) di un prodotto con concentrazione massima del residuo, non si avrebbe un effetto rilevabile. Tali valori non vengono mai raggiunti con la dieta. I dati di NOAEL sono riportati da <https://www.efsa.europa.eu/>
- ⁴ Per chi desidera approfondire, consiglio la lettura delle seguenti review e metanalisi sul tema. Le review sono lavori di revisione scientifica di un settore, tale revisione è fatta in maniera sintetica. Le metanalisi sono invece raccolte sistematiche di tutti i dati disponibili su un argomento, stante ovviamente i criteri di ricerca e la possibilità di accesso agli stessi, e di aggregazione e analisi congiunta in modo da fornire un risultato dell'effetto medio di una condizione (es. la coltivazione biologica rispetto a una controparte in convenzionale) su una variabile (es. la resa, l'impatto ambientale, etc.):
- sostenibilità del biologico a scala globale (Clark & Tilman, 2017);
 - sostenibilità del biologico a scala europea (Tuomisto, Hodge, Riordan, & Macdonald, 2012);
 - variabilità produttiva del biologico a scala globale (Knapp & van der Heijden, 2018);
 - rese del biologico a scala globale (Seufert et al., 2012);
 - effetti dei prodotti: (Barański, Rempelos, Iversen, & Leifert, 2017);
 - effetti della sola carne (Średnicka-Tober et al., 2016);
 - effetti sulla salute (Mie et al., 2017).
- ⁵ Nel 2020 è stato pubblicato un articolo (Paull & Hennig, 2020) recante una statistica fondata sui dati rilasciati da diversi enti ma che non può comprendere, per ovvie ragioni, gli agricoltori che sostengono di produrre in biodinamico senza certificazione o quelli certificati da chi non ha fornito i dati. L'articolo riporta, a scala globale, le superfici di 23 nazioni per un totale complessivo di quasi 250 mila ha, una superficie pari a circa $\frac{3}{4}$ del territorio della Valle d'Aosta. Probabilmente la superficie complessiva non è molto più alta di questo valore.
- ⁶ Ad esempio, Steiner non ha mai consigliato di usare o permettere l'uso degli ibridi di mais, ammessi da chi rilascia certificazioni biodinamiche, dal momento che ai suoi tempi non esistevano. Ma ha redarguito dall'uso dei prodotti di alcune aziende, ironicamente le stesse che, in un secondo momento, hanno commercializzato molti prodotti attualmente permessi in biodinamico.
- ⁷ <https://euipo.europa.eu/eSearch/#details/trademarks/006292924>.
- ⁸ <https://euipo.europa.eu/eSearch/#details/trademarks/006292924/opposition/001330606>.
- ⁹ <https://trademarks.justia.com/764/86/biodynamic-76486056.html>.
- ¹⁰ Alcune certificazioni private biodinamiche prevedono diverse tipologie di certificazione, di cui alcune senza l'applicazione dei suddetti preparati.
- ¹¹ <http://www.senato.it/service/PDF/PDFServer/BGT/01298137.pdf>.
- ¹² Per l'articolo e comma completi si confronti: <http://www.senato.it/service/PDF/PDFServer/BGT/01298137.pdf>.

Note

¹ Si perdoni la trattazione semplicistica. In particolare, i gas serra sono composti chimici a base di carbonio (C) e azoto (N) che provenivano dalla sostanza organica. La trasformazione della sostanza organica in gas serra è vertiginosamente promossa dalle lavorazioni del suolo.

² Semplificando il concetto, le leguminose non necessitano di fertilizzazione azotata in quanto riescono ad attivare una simbiosi mutualistica con un gruppo di batteri, i rizobi, che prelevano l'azoto atmosferico non accessibile alle piante e lo convertono in una forma accessibile alle piante. Tale simbiosi ha un costo energetico notevole e la pianta spende moltissimi fotosintetati altrimenti utilizzabili per la produzione. Ovviamente, ciò non implica che il batterio sia presente ovunque e che quindi la leguminosa non necessiti mai di azoto minerale fornito dall'esterno, ma è comunque possibile introdurre

¹³ Il settore della produzione delle sementi è un collo di bottiglia della certificazione biologica, che per questo aspetto si regge sulle deroghe alla stessa. Lo stesso vale per il letame. In breve, quando un agricoltore biologico non riesce a trovare il genotipo di proprio interesse o il letame necessario, può chiedere di utilizzare materiale proveniente da sistemi non biologici. La deroga è uno strumento legale, ma aggira il concetto stesso della produzione biologica, secondo cui qualunque cosa e metodo utilizzati in tutta la filiera devono essere ammessi in biologico. Senza le deroghe, superficie e produttività in biologico si ridurrebbero drasticamente (Barbieri et al., 2021).

¹⁴ La ricerca da parte di ricercatori pubblici, finalizzata per un'esigenza di un'azienda privata, esiste, è normata e richiede un finanziamento dell'azienda stessa, in caso contrario implica che il pubblico utilizza fondi pubblici per l'interesse di uno o pochi privati. Io stesso ho lavorato più anni nell'ambito di progetti finanziati da aziende, ivi incluso uno da una famosa società che si occupa di biodinamico, proprio per l'attività di miglioramento genetico per le loro condizioni. Tali progetti vengono volgarmente chiamati "commesse di ricerca" e sono uno strumento tramite il quale un privato può finanziare il pubblico per ricerche di proprio interesse. Nel caso del DDL in esame, invece, il pubblico sembra dare un forte potere a un singolo privato, facendolo sedere al tavolo tecnico e prevedendo, inoltre, l'uso dei fondi pubblici per la ricerca di interesse di quel privato.

¹⁵ <https://www.lifegate.it/verita-legge-agricoltura-biologica-e-biodinamica>.

¹⁶ <https://www.facebook.com/MariaChiaraGadda/posts/2821235344793379>.

¹⁷ Qui: <http://www.senato.it/service/PDF/PDFServer/BGT/01297775.pdf> e qui: <http://www.senato.it/service/PDF/PDFServer/BGT/01297780.pdf>.

¹⁸ <https://www.georgofili.info/Media?c=16b403cb-0586-4f57-b335-01d934c36e86>.

SERGIO SAIA

Sergio Saia è professore associato di Agronomia e Coltivazioni Erbacee presso il dipartimento di Scienze Veterinarie dell'Università di Pisa. Nella sua carriera, ha lavorato in diverse realtà di ricerca e produzione, tra cui in aziende biologiche, come docente in corsi "Istruzione Formazione Tecnica Superiore" e corsi per i tecnici certificatori biologici, e ovviamente in attività di ricerca scientifica presso enti pubblici di ricerca e università dislocati in diverse regioni (Sicilia, Puglia, Marche, Piemonte, Lazio e Toscana) venendo a contatto con molteplici realtà di ricerca e aziendali. Si occupa principalmente di gestione della nutrizione vegetale in assenza di applicazione di fertilizzanti di sintesi e in particolare attraverso microrganismi benefici per le piante, di gestione delle malerbe in assenza di applicazione di principi attivi di sintesi e collabora in attività di ricerca in genetica agraria finalizzati a individuare i caratteri di competitività contro le infestanti e di resistenza ai patogeni, oltre che di aumento della qualità delle colture. Si occupa inoltre di modellistica applicata ai sistemi agrari, in particolare riguardante il tenore di fertilità del suolo e i suoi determinanti agro-ambientali, e di gestione della biodiversità coltivata.

Contatti

e-mail: sergio.saia@unipi.it

Link istituzionali e attività di divulgazione:

<https://linktr.ee/sergiosaia>

SPERIMENTAZIONE PARTECIPATIVA PER IL MAIS: PRIMA ESPERIENZA IN ITALIA

Rita Redaelli, Paolo Valoti, Carlotta Balconi, Giuseppe De Santis,
Bettina Bussi, Riccardo Bocci

Riassunto

Lo scopo del miglioramento genetico partecipativo (Participatory Plant Breeding, PPB) è quello di coinvolgere gli agricoltori nella caratterizzazione fenotipica dei materiali in selezione e nella loro valutazione in termini di adattamento ambientale e sostenibilità. Nell'ambito del Progetto MiPAAF "Risorse Genetiche Vegetali", il CREA Centro di ricerca Cerealicoltura e Colture Industriali - sede di Bergamo, in collaborazione con Rete Semi Rurali, ha avviato la prima esperienza in Italia di PPB per il mais. Nel 2017, un set di 173 diallelici ottenuti da incroci tra varietà locali italiane e straniere è stato distribuito a 38 aziende agricole locate in 12 regioni, seguendo un disegno sperimentale a blocchi incompleti. Gli stessi genotipi sono stati seminati a Bergamo in due repliche. I risultati raccolti dagli agricoltori hanno consentito di identificare i diallelici più adatti ai diversi areali di coltivazione, materiali che sono stati riproposti nel secondo anno (2018). L'utilizzo di genotipi tradizionali di mais per questo approccio ha destato interesse in un ampio numero di aziende, che si sono rese disponibili a proseguire la sperimentazione. Un altro risultato interessante di questa collaborazione è stata l'organizzazione di incontri tecnici di formazione con gli agricoltori.

Abstract

The aim of the Participatory Plant Breeding (PPB) is to involve farmers in the phenotypic characterization of the materials to be selected and in their evaluation in terms of environmental adaptability and sustainability. In the framework of the Project "Plant Genetic Resources", funded by the Ministry of Agriculture, CREA Research Center for Cereal and Industrial Crops (Bergamo), in collaboration with Rete Semi Rurali (RSR), launched the first maize PPB experience in Italy. In 2017 a set of 173 populations derived from crosses among 25 Italian and foreign landraces was sown in 38 organic and low-input small farms located in 12 regions, following an alpha design with incomplete blocks. The same genotypes were sown in Bergamo according to a row-column design in two replications. The results collected by farmers allowed the identification of the most adapted materials for each environment, which were grown in the second year (2018). The use of traditional genotypes for this breeding approach raised a large interest among many farmers, who decided to continue to grow them. Another interesting output of this collaboration was the organization of technical and educational meetings with the farmers.

Parole chiave: *mais, miglioramento genetico partecipativo, popolazioni.*

Keywords: *maize, participatory plant breeding, populations.*

La biodiversità in agricoltura

L'agricoltura è particolarmente esposta ai nuovi rischi associati all'aleatorietà climatica (Parry et al. www.ipcc.ch). Negli areali del bacino del Mediterraneo è già in corso una riduzione del rapporto precipitazioni/evapotraspirazione tale da determinare condizioni critiche per i sistemi colturali basati sulle specie cerealicole, che potrebbero non avere tempo sufficiente per adattarsi alle nuove condizioni (Gao & Giorgi, 2008; Lionello, 2012). Gli scenari climatici, seppure siano affidabili su scala globale, non lo sono su scala regionale e locale e determinano una variabilità inter-annuale delle condizioni di coltivazione che si riflette sulla stabilità produttiva, con conseguenze sull'approvvigionamento alimentare e sulla competi-

tività delle imprese. L'adattamento è considerato un fattore chiave in grado di modulare la gravità degli impatti futuri sulla produzione agroalimentare, ma gli attuali sistemi agricoli monocolturali mal si prestano a fronteggiarli. Benefici potranno invece derivare dalla transizione verso modelli agro-ecologici resilienti basati sul recupero e la valorizzazione delle risorse genetiche locali (Brown & Funk, 2008; Cardinale et al. 2012; Chable et al., 2020).

L'erosione delle risorse genetiche nelle piante coltivate, soprattutto delle specie a uso alimentare, è stata discussa per la prima volta come un problema pubblico nel 1992, durante la Convenzione sulla Diversità Biologica (www.cbd.int). Da allora l'attenzione della ricerca scientifica si è focalizzata sullo sviluppo di approcci che consentano il recupero e il mantenimento

della variabilità genetica naturale, riconosciuta come un elemento essenziale per la salute e il benessere degli uomini, per la sanità e la sicurezza alimentari, e per altre aree necessarie alla prosperità di tutti gli esseri umani e delle società. Contemporaneamente, anche la biodiversità agricola ha subito, dall'avvento dell'agricoltura industriale, un'erosione progressiva della diversità delle specie e varietà eduli coltivate. Questa condizione ha portato nel 2004 alla stipula di un Trattato internazionale sulle risorse genetiche per l'alimentazione e l'agricoltura (ITPGRFA, www.fao.org/plant-treaty/) sotto l'egida della FAO. L'intento del trattato è quello di costruire un pool genico globale per facilitare il coordinamento delle iniziative dei singoli Paesi in tema di accesso e gestione delle risorse genetiche vegetali.

Un forte richiamo in questa direzione è contenuto nel rapporto IPES (International Panel of Experts on Sustainable Food Systems, <http://www.ipes-food.org/>) del 2016, che individua la necessità di “diversificare le aziende e i paesaggi agricoli, sostituire gli input chimici, ottimizzare la biodiversità e stimolare le interazioni tra specie diverse, come parte di strategie olistiche per costruire fertilità a lungo termine, agroecosistemi sani e mezzi di sussistenza sicuri”. In effetti, l'agricoltura europea è interessata da un alto grado di semplificazione delle colture e del paesaggio: al 2020, oltre il 64% della superficie totale coltivata in Europa è coperta da sole tre specie (grano tenero, mais da granella e orzo). La diversità genetica e fenotipica delle colture è drasticamente ridotta e la perdita di diversità è stata correlata a un calo della resilienza climatica e della stabilità delle rese (Ceccarelli, 2010; Kahiluoto et al. 2019).

La perdita di biodiversità agricola è anche conseguenza delle attività di miglioramento genetico realizzate nel secolo scorso (Gepts & Hancock, 2006): l'applicazione delle leggi della genetica e la selezione di modelli di pianta sempre più specifici ha portato alla diffusione in coltura di varietà geneticamente omogenee e con caratteristiche molto simili. Le varietà sviluppate dai programmi convenzionali di miglioramento genetico (breeding) risultano in genere altamente produttive negli ambienti in cui esiste la possibilità, anche economica, di fornire elevati input alla coltura (fertilizzazione, irrigazione, diserbo, e così via). Ma la capacità produttiva o l'espressione di resistenze a stress biotici/abiotici in un ambiente ad alto apporto di input non sono necessariamente correlate a una performance comparabile negli ambienti marginali o con meno apporti (come quelli in regime di agricoltura biologica), nei quali spesso prevalgono i genotipi tradizionali, adattati nel tempo a quello specifico ambiente.

Miglioramento genetico partecipativo (PPB)

Come previsto dall'art.6 del Trattato, gli Stati aderenti devono impegnarsi a promuovere strategie alternative per la gestione della biodiversità agricola, anche sostenendo programmi di miglioramento genetico *on farm* che tengano conto dell'importanza della biodiversità in agricoltura. I programmi di miglioramento genetico partecipativo (PPB) costituiscono alcune di queste alternative: le attività di selezione di una coltura sono decentralizzate e vengono realizzate negli ambienti destinati alla sua coltivazione, in collaborazione con gli agricoltori locali, costituendo una forma dinamica di conservazione *in situ* (Ashby, 2009; Ceccarelli & Grando, 2007). La selezione per un adattamento specifico a ogni ambiente target è particolarmente importante soprattutto quando ci sono condizioni sfavorevoli per le colture perché, mentre gli ambienti favorevoli tendono ad assomigliarsi tra loro, quelli sfavorevoli possono essere molto diversi. La partecipazione critica degli agricoltori, inoltre, e il loro coinvolgimento nella discussione sono richiesti già dai primi step dello schema di breeding. In questo approccio, la partecipazione degli agricoltori assicura che gli obiettivi del breeding siano appropriati e che gli ambienti in cui avviene la selezione siano rappresentativi delle condizioni *on farm*, mentre i breeder contribuiscono con la loro esperienza alla produzione di variabilità genetica, al management di popolazioni e all'organizzazione di metodi di selezione che possano separare gli effetti ambientali da quelli genetici. Gli adattamenti specifici a un determinato ambiente possono infatti essere più efficacemente identificati *on farm* che nelle stazioni sperimentali (Atlin et al. 2001).

D'altra parte, i programmi di PPB rispondono ai bisogni dei piccoli-medi agricoltori che sono spesso trascurati dai breeder convenzionali. I vantaggi ottenuti dal PPB, a confronto con quelli del miglioramento classico, sono più elevati perché questo approccio costa meno agli agricoltori e i benefici arrivano prima. Il PPB può costituire uno strumento efficace per mantenere la diversità e allo stesso tempo aumentare la produzione in particolari sistemi agricoli a basso input (Vaz Patto et al. 2008).

In Europa questo approccio è una realtà già da alcuni decenni e riguarda diverse specie, sia di cereali che di ortaggi, grazie anche al finanziamento di progetti nazionali ed europei su questa tematica (Newton et al. 2010). La prima iniziativa di breeding partecipativo è rappresentata dal progetto “*Vale do Sousa (VASO)*” in Portogallo, un programma a lungo termine attivato nel 1984, che riguarda la gestione e la valorizzazione della biodiversità delle varietà tradizionali di mais a

seme vitreo, destinate alla produzione di un pane locale detto *broa*.

In Svezia dal 1995 è attivo il progetto di breeding partecipativo “*Alkorn*”, con l’obiettivo di sviluppare varietà destinate alla coltivazione in agricoltura biologica. Il progetto comprende varietà di quasi tutte le specie di cereali (frumento, orzo, segale e avena) coltivate in Svezia tra il 1900 e il 1950.

In Ungheria, la strategia di conservazione e selezione varietale partecipativa è legata principalmente alla reintroduzione di vecchie varietà tradizionali di cereali che negli ultimi decenni erano state conservate solamente *ex situ*. Per questo programma le banche del germoplasma ungheresi forniscono i semi delle varietà agli agricoltori interessati per un mantenimento *in situ* a lungo termine (Raaijmakers et al. 2020). Una iniziativa simile è stata applicata anche ai cereali non più utilizzati (monococco, farro dicocco, ecc.); in questo caso la loro reintroduzione nella moderna agricoltura è importante per sfruttare la diversità genetica che esiste ancora in questi genotipi.

Vista la richiesta di pasta biologica da parte dell’industria alimentare e la mancanza di varietà adatte ai bassi input di azoto dell’agricoltura biologica, presso l’INRAE di Montpellier in Francia nel 2001 fu avviato un programma di breeding partecipativo per il frumento duro. Agli agricoltori vennero fornite vecchie varietà, breeding lines e popolazioni derivate da incroci tra specie diverse di frumento. Nel Regno Unito, prove agronomiche comparative di varietà o miscugli varietali furono organizzate in 19 aziende nelle stagioni 2003-04 e 2004-05. Questo esperimento rivelò la grande variabilità delle coltivazioni biologiche esistenti nel Regno Unito e la difficoltà di selezionare una singola varietà adatta a tutti gli ambienti.

Popolazioni e PPB in Italia

Il progetto europeo *Strategies for Organic and Low Input Integrated Breeding and Management* (SOLIBAM, 2010-2014, www.solibam.eu) è stato il primo a sviluppare approcci di breeding specifici e innovativi, integrandoli con pratiche agronomiche, per migliorare performance, qualità, sostenibilità e stabilità delle colture adattate a sistemi biologici o low-input. A partire dal 2015, il programma Horizon 2020 ha finanziato il progetto *Embedding crop diversity and networking for local high quality food systems* (DIVERSIFOOD, www.diversifood.eu), con l’obiettivo di facilitare la cooperazione tra i network di ricerca partecipativa e i breeders professionali. RSR ha partecipato al progetto DIVERSIFOOD per studiare l’efficacia dell’uso di popolazioni nei sistemi agrari biologici o a basso

input, come strategia per rispondere ai cambiamenti climatici e per rendere più resilienti e sostenibili i sistemi stessi (Bocci et al. 2020).

A seguito dell’attività di ricerca svolta nell’ambito dei progetti europei citati, l’importanza del ruolo delle popolazioni in agricoltura biologica nell’ottica dell’adattamento ai cambiamenti climatici è stata confermata dall’Unione Europea, che per sostenere questa innovazione ha approvato una deroga alla normativa sementiera per consentire, in via sperimentale, la commercializzazione delle sementi delle popolazioni di frumento tenero e duro, orzo, avena e mais (Decisione di Esecuzione della Commissione Europea 2014/150/UE del 18 marzo 2014 e sua proroga a febbraio 2021) (Costanzo et al., 2019). L’Italia ha aderito alla sperimentazione nel 2017, autorizzando sette popolazioni di frumento tenero, sei popolazioni di frumento duro e una popolazione di orzo. Dal 2017 i campi di produzione del seme vengono controllati dal CREA - Centro di ricerca Difesa e Certificazione. Solo nel 2020 sono stati venduti circa 1000 quintali di semente certificata, per un totale di circa 500 ettari coltivati in tutta Italia, di cui l’80% in aziende agricole biologiche certificate e il 20% in aziende agricole biologiche non certificate.

Dal 2017 ad oggi, con il progetto europeo LIVESEED (www.liveseed.eu), un ampio consorzio di 50 partner di 17 paesi europei, coordinati da IFOAM EU e dall’Istituto di ricerca dell’agricoltura biologica FiBL Svizzera, ha lavorato per aumentare la disponibilità di materiale genetico con adattamento specifico alle esigenze aziendali e alla coltivazione in biologico, attraverso la creazione di un sistema sementiero integrato. Tale processo ha supportato la Commissione europea nell’iter di approvazione del nuovo Regolamento per il biologico (Regolamento UE 2018/848, applicabile dal 1° gennaio 2022) e nell’avvio di un nuovo esperimento europeo temporaneo sulla messa a punto di protocolli specifici per la registrazione di varietà biologiche (adattamento delle prove DUS e di Valore Agronomico e Tecnologico), che avrà durata di sette anni.

In Italia, il progetto Risorse Genetiche Vegetali (RGV-FAO), finanziato dal MiPAAF (Ministero per le Politiche Agricole, Alimentari e Forestali) a partire dal 2004, ha sostenuto attività di recupero, mantenimento, caratterizzazione e valorizzazione delle risorse genetiche presenti nelle collezioni di molte strutture CREA diffuse sul territorio italiano, con particolare focus sulle colture a uso alimentare. Nell’ambito di questo progetto, nel 2016 è stato stilato tra CREA - Centro di ricerca Cerealicoltura e Colture Industriali sede di Bergamo e Rete Semi Rurali (RSR) un protocollo d’intesa dal titolo “Valorizzazione condivisa

del germoplasma del mais”. Il protocollo si propone i seguenti obiettivi: i) utilizzare le varietà storiche dalla banca del germoplasma CREA per creare popolazioni di mais da proporre in coltivazione in aree non vocate all’agricoltura intensiva degli ibridi; ii) organizzare moduli di formazione tecnica per gli agricoltori; iii) diffondere le attività svolte attraverso iniziative di comunicazione. Facendo seguito al recepimento del protocollo, CREA e RSR nella stagione 2017 hanno avviato un modello di sperimentazione condivisa per il mais, la prima esperienza di PPB in Italia per questa coltura.

I materiali impiegati nella sperimentazione CREA - RSR

Nell’approccio partecipativo, che coinvolge aziende agrarie di piccole-medie dimensioni con una tecnica culturale low-input o biologica, spesso site in aree marginali o con scarsa possibilità di irrigazione, risulta particolarmente vantaggioso l’uso di varietà locali, in quanto la diversità genetica presente al loro interno costituisce una precondizione di adattamento ai cambiamenti ambientali.

Per la sperimentazione oggetto di questo studio sono stati scelti dei materiali derivanti dalla banca del germoplasma di mais presente presso la sede di Bergamo del CREA, unica in Italia per il numero e la varietà del germoplasma conservato. In particolare, la banca conserva e mantiene circa 680 varietà italiane di mais, che hanno rappresentato per secoli una coltura indispensabile per la sopravvivenza delle popolazioni delle campagne e sono uscite dalla coltivazione alla metà del secolo scorso, in conseguenza all’introduzione degli ibridi di mais dagli Stati Uniti. La collezione di varietà è stata costituita a partire da una iniziativa dell’allora direttore della Maiscoltura di Bergamo, Prof. Fenaroli, che si fece inviare dai consorzi agrari un campione delle varietà coltivate nelle regioni italiane. Questa iniziativa consentì la salvaguardia di un materiale genetico fortemente legato alla storia e alla tradizione, che altrimenti sarebbe andato perduto (Bernardi, 2014). Negli anni successivi, con lo svilupparsi di relazioni di lavoro con ricercatori e banche del germoplasma esteri, la banca di Bergamo ha acquisito germoplasma proveniente da altri Paesi, fino ad arrivare a circa 1.200 accessioni di varietà locali.

Una caratteristica importante di questi materiali è legata alla composizione chimica e alla tessitura della cariosside, particolarmente adatte alla trasformazione da parte dell’industria alimentare. L’elevato tenore di proteine e lipidi, unito alla vitrosità della cariosside, costituiscono infatti un parametro di pregio nella

produzione di alimenti a base di mais (Berardo et al. 2009; Alfieri et al., 2014, 2016). I genotipi tradizionali italiani, inoltre, sono risultati interessanti anche per l’elevato contenuto di composti a funzione antiossidante (carotenoidi, fenoli, antociani) che innalzano il valore nutrizionale potenziale delle farine (Alfieri et al. 2014; Tafuri et al., 2014; Redaelli et al., 2016). A queste considerazioni si può aggiungere l’interesse crescente di coltivatori e consumatori per le varietà di mais a cariosside colorata, da utilizzare non solo nell’industria alimentare ma anche come alimento per gli animali da cortile. In sintesi, questi materiali possono contribuire a creare un’economia circolare all’interno dell’azienda, contribuendo alla diversificazione dell’offerta aziendale e sostenendone il bilancio economico.

Negli anni scorsi presso il CREA - sede di Bergamo è stato realizzato un set di incroci tra 25 varietà locali, di cui 15 italiane (Lombardia e Veneto) e 10 estere (Ungheria, Romania, Messico, Cipro e Giappone) (Tab. 1). La sperimentazione descritta in questo lavoro ha preso avvio nel 2017 utilizzando 190 genotipi, corrispondenti a 173 popolazioni F₂, 14 varietà parentali e 3 ibridi tester (DKC4316, Corniola, Marano 501), con l’obiettivo di selezionare i materiali più adatti ai diversi ambienti/usi italiani.

Primo anno di sperimentazione - 2017

CREA Bergamo. Nel 2017 tutti i 190 genotipi sono stati seminati presso l’azienda “La Salvagna” del CREA a Bergamo (45°68’N; 9°64’E) usando un disegno sperimentale a blocchi randomizzati con due repliche (Fig. 1). Lo scopo era quello di realizzare un campo vetrina che permettesse di mettere direttamente a confronto in un solo ambiente le caratteristiche agronomiche e morfologiche di tutte le popolazioni. Durante la stagione maidicola sono state raccolte osservazioni su diversi parametri: altezza della pianta, altezza del punto di inserzione della spiga ed è stato attribuito a ogni genotipo un indice sintetico definito “indice di coltivabilità alla raccolta” con valori da 1 a 5, che rappresentava una valutazione complessiva della stabilità, integrità e sanità della pianta e della spiga.

La raccolta è stata realizzata a mano il 6 ottobre 2017, e per ogni parcella è stato registrato il peso in grammi della granella raccolta, in seguito rapportato al 14,5% di umidità e trasformato in t/ha. Sulla granella è stato poi determinato il peso ettolitrico (Kg/hL).

Aziende agricole. La sperimentazione con gli agricoltori ha coinvolto 38 aziende distribuite in 12 regioni (Tab. 2). Le aziende sono state selezionate considerando il regime culturale – biologico o low input –,

Tab. 1. Varietà italiane e straniere utilizzate negli incroci per produrre i diallelici.

Codice	Nome varietà	Origine
VA70	Locale	Lombardia
VA74	Fiorentino	Veneto
VA88	Scagliolo frassine	Veneto
VA90	Polenta rossa	Veneto
VA99w	Bianco nostrano	Veneto
VA103	Marano	Veneto
VA105	Nostrano dell'Isola	Lombardia
VA112	Pignolino nostrano	Veneto
VA114	Cinquantino Bianchi	Veneto
VA554	Sconosciuto	Lombardia
VA561	Scagliolo locale rostrato	Lombardia
VA643	Szabadkigyos	Ungheria
VA828	Local de Satu Lung	Romania
VA843	Alb romanesc de Virtop	Romania
VA850	Dinte de cal de Schnellreich	Romania
VA863	Dinte de cal de Vinju Mare	Romania
VA897	CIMMYT exotic gene pool	Messico
VA904	Cinquantino secondo raccolto	Lombardia
VA1045	MG91871	Cipro
VA1174	Iwanai Zairai	Giappone
VA1187	Katashina	Giappone
VA1191	Hirano	Giappone
VA1268	Rostrato rosso	Lombardia
VA1269	Nero spinoso	Lombardia
VA1304	Spinato di Gandino	Lombardia



Fig. 1. Campo nell'azienda "La Salvagna" di Bergamo, giugno 2017.

Tab. 2. Elenco delle 38 aziende agricole coinvolte nella sperimentazione 2017.

Nome azienda agricola	Provincia	Regione
Boschi Grandi	AL	Piemonte
AIAB Piemonte	AL	Piemonte
Scuole Salesiane Lombriasco	TO	Piemonte
Associazione Animante	BG	Lombardia
Solidarietà Cooperativa Sociale	LC	Lombardia
Pioppo tremolo	LC	Lombardia
Bio Podere Monticelli	LO	Lombardia
Il Giardiné	MB	Lombardia
Parco di Monza	MB	Lombardia
Cascina Gambarina	MI	Lombardia
Diversamente bio	PD	Veneto
Consorzio mais Marano	VE	Veneto
Fattoria Il Rosmarino	VE	Veneto
Giandomenico Cortiana	VI	Veneto
Geonika	VR	Veneto
Cooperativa Arvaia	BO	Emilia-Romagna
Armando Ardizzoni	MO	Emilia-Romagna
Radici felici	MO	Emilia-Romagna
Radici Sas di Venturi	AR	Toscana
Pandolfini	FI	Toscana
La Penta	FI	Toscana
Bellavista Insuese	LI	Toscana
Le Piane del Milia	LI	Toscana
Progetto Sterpaia	LI	Toscana
Antonio Russo – socio Sterpaia 1	LI	Toscana
Molino Angeli	LU	Toscana
Floriddia	PI	Toscana
Passerini Sara	SI	Toscana
Giovanni Cerrano	SI	Toscana
Rocca Madre	FM	Marche
Solina 2	AQ	Abruzzo
Donato Silveri	AQ	Abruzzo
Biologica Janas	TR	Umbria
Petacciato	CB	Molise
ABIM	CE	Campania
Cumparete 1	CE	Campania
Cumparete 2	SA	Campania
Il Querceto	PZ	Basilicata

la distribuzione sul territorio italiano, la precedente esperienza nella coltivazione del mais, l'interesse specifico per la produzione di mais dedicato al consumo umano (pane, pasta, polenta). Il disegno sperimentale usato è stato quello dei blocchi incompleti (Mead, 1997) con due repliche. A ogni agricoltore è stato assegnato un blocco sperimentale con dieci parcelle contenenti ciascuna un diallelico di varietà locali o un parentale di controllo. Agli agricoltori sperimentatori è stato chiesto di provvedere alla raccolta dei

dati fenologici fondamentali (germinazione, tempi di fioritura, numero di spighe ecc.) e alla fine del ciclo, esprimere un giudizio sintetico circa la "coltivabilità" del diallelico osservato.

Risultati del primo anno

Come sintesi dei risultati del 2017, in Fig. 2 è riportato il diagramma dell'analisi statistica dei parametri

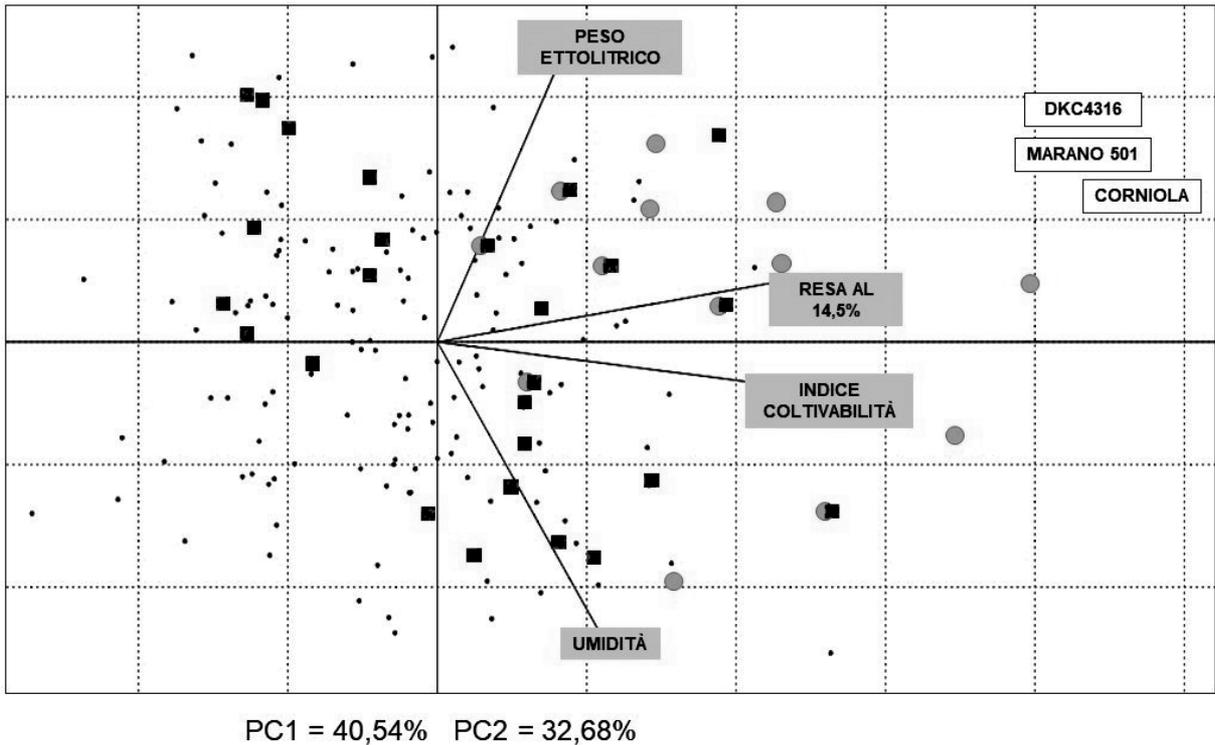


Fig. 2. Diagramma PCA delle popolazioni coltivate a Bergamo nel 2017. Cerchi grigi: popolazioni selezionate dal campo di Bergamo; quadrati neri: popolazioni scelte dagli agricoltori nelle varie aziende.

raccolti nel campo di Bergamo (Principal Component Analysis, PCA), che mostra la distribuzione dei genotipi in campo in relazione alle caratteristiche considerate. Le popolazioni hanno mostrato una grande variabilità per i parametri agronomici considerati. Come atteso, i tre ibridi sono risultati superiori a tutte le popolazioni per resa e peso ettolitrico. In generale, le combinazioni con un più alto indice di coltivabilità sono risultate quelle derivate da incroci tra varietà locali italiane, probabilmente per condizioni di adattamento e selezione specifici per gli areali italiani (Valoti et al. 2018). Le combinazioni più performanti sono risultate quelle con le varietà VA103 Marano e VA105 Nostrano dell'Isola, con produzioni di granella superiori alla varietà per sé e con particolari caratteristiche di vitrosità della cariosside e di peso ettolitrico, confrontabili a quelle degli ibridi vitrei in prova (Marano 501 e Corniola). Alte produzioni di granella sono state ottenute tra le popolazioni con VA1268 (Rostrato rosso) come parentale.

Nel grafico riportato in Fig. 2 vengono inoltre indicate le popolazioni ritenute più interessanti in base ai dati raccolti e alle osservazioni fatte a Bergamo (cerchi) e nelle aziende coinvolte (quadrati). Come atteso, le varietà selezionate nei diversi ambienti sono diverse da quelle selezionate a Bergamo; la scelta coincide so-

lamente per sei popolazioni (VA99w x VA904, VA88 x VA99w, VA88 x VA105, VA105 x VA1269, VA105 x VA1268 e VA105 x VA1304).

Per quanto riguarda la sperimentazione con le aziende (Fig. 3), gli agricoltori sono stati supportati dal tutoraggio RSR e da agricoltori esperti in maicoltura. Le comunicazioni che raccontano l'esperienza sono state raccolte nel blog della sperimentazione <http://letscoltivatemais.blogspot.it/>. Come atteso, le popolazioni si sono adattate in modo diverso nelle diverse località e la quantità di granella prodotta nei vari ambienti è stata molto variabile. A causa dell'andamento meteorologico stagionale, con temperature alte e precipitazioni ridotte, in qualche località le piante non hanno sviluppato le spighe, soprattutto dove non è stato possibile irrigare. Inoltre, in diversi campi le parcelle sono state danneggiate da animali. In totale, dei 38 blocchi seminati nel 2017, 18 sono falliti per problemi di semina, di siccità e di pascolamento da animali; quindi, solo il 40% delle prove ha generato dati utili.

I risultati del primo anno di sperimentazione nelle aziende sono stati condivisi e discussi in un incontro-seminario tenutosi il 15 settembre 2017 a Bergamo presso il CREA con la partecipazione degli agricoltori "sperimentatori" (Fig. 4). In questa occasione i parte-



Fig. 3. Semina presso il campo di Agrate Brianza (MB), aprile 2017.



Fig. 4. Immagine dell'incontro tenuto a Bergamo il 15 settembre 2017.

cipanti hanno potuto osservare l'intero set delle popolazioni nel campo vetrina allestito presso l'azienda "La Salvagna" e confrontare le proprie osservazioni con quelle raccolte a Bergamo.

Durante l'incontro sono stati anche discussi i problemi incontrati da alcune aziende durante la stagione agronomica; in particolare, è stata rilevata la necessità di disporre di una scala comune per la valutazione delle popolazioni, così da confrontare l'adattamento dei singoli diallelici ai diversi ambienti di crescita. La difficoltà di gestione delle prove ha evidenziato, inoltre, la necessità di creare occasioni per aumentare le conoscenze sulla coltivazione di materiali eterogenei tramite momenti di formazione e protocolli comuni e condivisi tra le aziende coinvolte nella sperimentazione *on farm*. Al termine del seminario si è deciso di organizzare incontri tecnici formativi per l'anno successivo, allo scopo di aiutare gli agricoltori a impostare la sperimentazione in maniera adeguata a ottenere dati attendibili e confrontabili tra le diverse aziende.

Secondo anno di sperimentazione - 2018

CREA Bergamo. Nel secondo anno di sperimentazione (2018), le 13 popolazioni selezionate dal campo vetrina del 2017 sono state testate presso l'azienda

Tab. 3. Dati medi dei parametri produttivi e morfologici dei diallelici e degli ibridi tester in prova agronomica a Bergamo nel 2018.

Dialellici	IC ^(a)	Altezza pianta (cm)	Altezza spiga (cm)	Resa t/ha al 14,5%	Umidità (%)	Peso ettolitrico (kg/hl)
Nostrano dell'Isola x Rostrato rosso	6,0	184	83	4,03	15,6	74,6
Marano x Rostrato rosso	6,5	220	128	4,00	16,2	78,6
Polenta rossa x Nostrano dell'Isola	7,8	228	110	3,95	19,0	74,0
Scagliolo frassine x Bianco nostrano	6,5	204	104	3,88	22,0	69,8
Scagliolo frassine x Nostrano dell'Isola	6,3	182	86	3,82	16,1	72,4
Sconosciuto x Rostrato rosso	6,5	247	127	3,78	22,5	71,4
Marano x Cymmit exotic gene pool	5,5	223	114	3,44	16,1	78,7
Bianco nostrano x Cinquantino 2°raccolto	5,0	248	129	3,22	21,5	72,0
Cinquantino 2°raccolto x Rostrato rosso	6,5	213	123	3,11	18,9	76,5
Nostrano dell'Isola x Spinato Gandino	8,0	216	113	3,11	18,2	75,7
Nostrano dell'Isola x Nero spinoso	6,5	192	98	3,05	14,6	81,7
Hirano x Rostrato rosso	5,0	241	129	2,83	20,7	66,5
Marano x Nostrano dell'Isola	7,5	181	82	2,78	13,5	80,4
DKC4316 - FAO 300	9,0	203	89	8,15	13,5	75,8
P0729 - FAO 400	9,0	236	92	9,63	16,3	77,2
Media diallelici	6,4	214	110	3,46	18,0	74,8
Media ibridi	9,0	220	90	8,89	14,9	76,5
Media generale	6,8	214	107	4,19	17,6	75,0

“La Salvagna” in prova parcellare replicata, a confronto con due ibridi (Tab. 3). Nello stesso anno, si è proceduto all'analisi chimica di un set di popolazioni derivate dal campo 2017. Mediante spettroscopia nel vicino infrarosso (NIRS), è stato determinato il contenuto in proteine totali, lipidi totali e amido; la capacità antiossidante totale è stata valutata mediante il metodo ABTS (Alfieri et al. 2021).

Aziende agricole. Nel secondo anno sono state coinvolte 16 aziende, distribuite in 10 regioni: Piemonte, Lombardia, Veneto, Emilia-Romagna, Toscana, Marche, Lazio, Umbria, Campania, Basilicata (Fig. 5). Anche il numero delle parcelle assegnate a ogni agricoltore è stato ridotto a sei, per consentire una migliore gestione dei materiali. Combinando le osservazioni raccolte nel 2017, agli agricoltori sono stati distribuiti 28 popolazioni, 18 varietà parentali e due ibridi di controllo.

Come pianificato nell'incontro di settembre 2017 a Bergamo, il 5 maggio 2018 a Contrada le Matinelle (Matera) si è tenuto un incontro sui temi “Produzione di mais per il consumo umano da varietà locale”, a cui hanno partecipato più di 35 agricoltori provenienti da Puglia, Basilicata, Campania e Calabria (Fig. 6). In effetti, l'uso degli sfarinati di mais nella dieta povera delle popolazioni rurali non era limitato al nord Italia, ma era diffuso in tutte le regioni della penisola. In particolare, nel sud Italia queste preparazioni pren-

devano il nome di Migliaccio, poiché cotte “ad uso del miglio” (Paoli, 2017). Durante l'incontro di Matera sono state illustrate le modalità di raccolta dei parametri fenologici durante la stagione agronomica. Sono stati inoltre discussi gli elementi essenziali di pianificazione della selezione in campo (eterosi, *inbreeding*, la trasmissione delle principali malattie ecc.) per le specie allogame. In sintesi, questo incontro ha permesso di mettere a fuoco una strategia per lo sviluppo di sistemi comunitari di produzione di sementi di cereali (compreso il mais), affrontando gli aspetti legali, sanitari e di selezione in campo delle piante.

Risultati del secondo anno e proseguimento della sperimentazione

Nonostante nella prova di Bergamo la media produttiva delle popolazioni sia risultata significativamente inferiore a quella degli ibridi in prova, alcune delle combinazioni hanno mostrato elevati valori di indice di coltivabilità e peso ettolitrico. I diallelici con la miglior performance sono risultati quelli derivati da incroci con le varietà VA1268 Rostrato rosso e VA105 Nostrano dell'Isola. In generale, associando i dati produttivi ai risultati delle analisi chimiche, è stata evidenziata la presenza di popolazioni potenzialmente interessanti per la coltivazione negli areali del nord Italia.



Fig. 5. Campo di Isola Vicentina (VI), settembre 2018.



Fig. 6. Paolo Valoti incontra gli agricoltori a Matera, maggio 2018.

Considerata la recente e proficua collaborazione sviluppata anche in ambito internazionale (sia in Europa che nel Centro America), volta allo scambio e valorizzazione di germoplasma tradizionale di mais, la strategia di lavoro futuro è quella di introdurre

nel germoplasma italiano caratteri favorevoli derivati da altre fonti genetiche, per aumentare la biodiversità e selezionare varietà fruibili dagli agricoltori. Ne sono un esempio gli scambi scientifici nell'ambito del progetto di cooperazione internazionale "Piccoli

Semi Gradi Opportunità - agro ecologia campesina familiare e filiere a km 0 in Bolivia”, finanziato dalla Agenzia Italiana per la Cooperazione allo Sviluppo (AICS), con capofila A.S.P.Em - Associazione Solidarietà Paesi Emergenti e CREA Sede di Bergamo referente scientifico e tecnico del progetto (Balconi et al. 2019). Un obiettivo strategico di questo progetto di ricerca condiviso tra Italia e Bolivia consiste nell’incrementare le risorse genetiche presenti nella Banca del Germoplasma del CREA di Bergamo con germoplasma “criollo” boliviano, al fine di costituire nuove varietà pigmentate di mais, tipo “morado” a colorazione viola, ricco di antociani, composti vegetali bioattivi che grazie alla loro proprietà antiossidante sono in grado di proteggere le cellule neutralizzando i radicali liberi, mostrando così potenzialità salutistiche per l’organismo umano.

I risultati delle osservazioni fatte dagli agricoltori sono stati raccolti in un *Quaderno di campagna*: oltre al peso della granella raccolta, comprendevano la descrizione morfologica delle spighe e dei semi dei diallelici e delle varietà parentali. Anche nella stagione 2018 non tutte le semine presso le aziende sono andate a buon fine; diversi agricoltori si sono però resi disponibili a proseguire la sperimentazione utilizzando una popolazione derivata dalla miscela dei diallelici selezionati nel 2017, che viene attualmente testata in diverse località, allo scopo di verificarne l’adattamen-

to ambientale e la potenzialità produttiva per l’azienda ospitante.

Conclusioni

Questa prima sperimentazione PPB per il mais in Italia ha rappresentato un esempio di stretta collaborazione tra il mondo della ricerca e quello degli agricoltori. Il coinvolgimento attivo ha destato interesse tra i partecipanti, malgrado i risultati non siano sempre stati all’altezza delle aspettative; diverse aziende hanno espresso anche il desiderio di proseguire la collaborazione, scegliendo le modalità e i materiali più adeguati al proprio ambiente di coltivazione.

In particolare, è stata apprezzata la possibilità di sperimentare popolazioni molto diverse tra loro per caratteristiche della pianta e della granella, che costituiscono un materiale genetico non reperibile nel mercato del mais. La variabilità genetica presente naturalmente nelle popolazioni costituisce un ottimo punto di partenza per selezionare varietà che possano combinare capacità di adattamento ad ambienti marginali, potenzialità di resa e qualità del prodotto e che possano trovare impiego nel settore *food* – alimenti *gluten-free*, prodotti tipici, ecc. – o *feed*, con speciale attenzione al pollame.

Questo approccio, che utilizza materiali eterogenei

Glossario

BREEDING, BREEDER	Attività di miglioramento genetico di specie agrarie realizzata attraverso incroci, selezione, ecc. Chi si occupa di miglioramento genetico viene definito breeder
DIALLELICO	Schema sperimentale in cui, in un gruppo di varietà, ognuna viene incrociata con tutte le altre
ETEROSI	Fenomeno per cui gli ibridi tra due linee pure sono più vigorosi, resistenti e produttivi delle linee da cui derivano
INBREEDING	Riduzione della variabilità genetica per autofecondazioni ripetute
INTROGRESSIONE	Acquisizione di caratteri genetici da altre specie tramite incrocio
MAIS IBRIDO	Mais ottenuto dall’incrocio di due genotipi diversi
SPECIE ALLOGAME	Specie in cui la fecondazione avviene a opera del polline prodotto da altri fiori della stessa pianta oppure da fiori di altri individui appartenenti alla stessa specie
VARIETA’ PARENTALI	Varietà che vengono utilizzate per realizzare gli incroci: la varietà porta seme viene fecondata dalla varietà impollinatrice

da un punto di vista genetico e che ha un focus particolare sull'adattamento e la sostenibilità delle colture, si raccorda perfettamente con i nuovi orientamenti della CEE che riguardano la gestione dell'agricoltura nel prossimo decennio, e apre una prospettiva sociale ed economica nuova per le tante piccole aziende sparse sul territorio. Ad aprile 2018 il Parlamento europeo ha infatti approvato il regolamento che dal 2022 detterà le nuove norme al mondo del biologico, includendo anche il delicato tema sementiero. Infatti, il Regolamento definisce per la prima volta le categorie di "materiale eterogeneo" e "varietà biologiche" (art. 1). Nel caso di "materiale eterogeneo" la definizione è diversa da quella prevista della sperimentazione temporanea sulle popolazioni di frumento, orzo, avena, mais iniziata nel 2014. Il nuovo regolamento europeo sul biologico consentirà la commercializzazione di sementi delle popolazioni sotto il termine "materiale eterogeneo biologico". Al fine di precisare la definizione e i criteri per l'iscrizione e la certificazione delle sementi di questo materiale, la Commissione Europea ha adottato il 7 maggio 2021 gli Atti Delegati che entreranno in vigore a gennaio 2022.

Infine, va considerato il fatto che impiegare popolazioni eterogenee in agricoltura biologica, un settore in crescita esponenziale in questi anni, corrisponde perfettamente alle direttive del programma Agenda 2030 – *Bringing back Nature in our life* – attivato dalla Comunità Europea per sviluppare approcci più sostenibili alla produzione di cibo. La possibilità per il mais, tra alcune altre specie, di commercializzare materiali eterogenei potrebbe, quindi, favorire ulteriormente la coltivazione delle popolazioni e incoraggiare l'utilizzo di questo modello di agricoltura per combinare in modo sostenibile produzione e qualità.

Ringraziamenti

Ricerca finanziata dal progetto Risorse Genetiche Vegetali (RGV-FAO, 2017-2019) del MiPAAF (DM 11746 del 10/04/2017) e dal progetto europeo DIVERSIFOOD del Programma Horizon2020.

Bibliografia

- Alfieri M., Hidalgo A., Berardo N., Redaelli R. (2014). *Carotenoid composition and heterotic effect in selected Italian maize germplasm*. Journal of Cereal Science, 59: 181-188.
- Alfieri M., Lanzanova C., Locatelli S., Valoti P., Balconi C., Bossi A., Carrara M., Redaelli R. (2016). *Varietà italiane di mais bianchi: caratterizzazione chimica e fitosanitaria*, Tecnica Molitoria LXVII: 350-359.
- Alfieri M., Balconi C., Valoti P., Redaelli R. (2021). *Tradizional maize varieties as a genetic resource for a sustainable and participatory approach to agriculture*. Tecnica Molitoria International 71 (22A): 41-49.
- Ashby J.A. (2009). *The impact of participatory plant breeding*, In: Plant Breeding and Farmer Participation. Ceccarelli S., Guimaraes, E.P., Weltzien, E. (Eds.), FAO, Rome, pp 650-671.
- Atlin G.N., Cooper M., Bjornstad A. (2001). *A comparison of formal and participatory breeding approaches using selection theory*, Euphytica 122: 463-475.
- Balconi C., Valoti P., Pecchioni N. (2019). *La biodiversità del mais: una grande opportunità di cooperazione internazionale tra Italia e Bolivia*. Mangimi & Alimenti, XI (3): 14-16.
- Berardo N., Mazzinelli G., Valoti P., Laganà P., Redaelli R. (2009). *Characterisation of maize germplasm for the chemical composition of the grain*, J. Agric. Food Chem. 57(6): 2378-2384.
- Bernardi E. (2014). *Il mais miracoloso*. Ed. Carocci.
- Bocci R., Bussi B., Petitti M., Franciolini R., Altavilla V., Galluzzi G., Di Luzio P., Migliorini P., Spagnolo S., Floriddia R., Li Rosi G., Petacciato M., Battezzato V., Albino A., Faggio G., Arcostanzo C., Ceccarelli S. (2020). *Yield, yield stability and farmers' preferences of evolutionary populations of bread wheat: A dynamic solution to climate change*. European Journal Agronomy 121: 126-156.
- Brown M.E., Funk C.C. (2008). *Food security under climate change*. NASA Publications. 131.
- Cardinale B.J., Duffy J. E., Gonzalez A., Hooper D.U., Perrings C., Venail P., Narwani A., Mace G.M., Tilman D., Wardle D.A., Kinzig A.P., Daily G.C., Loreau M., Grace J.B., Larigauderie A., Srivastava D.S., Naeem S. (2012). *Biodiversity loss and its impact on humanity*. Nature 486: 59-68.
- Ceccarelli S. (2009). *Selection methods. Part 1: Organizational aspects of a plant breeding programme*. In: Plant Breeding and Farmer Participation, Ceccarelli S., Guimaraes, E.P., Weltzien, E. (Eds.), FAO, Rome, pp 195-222.
- Ceccarelli S., Grando S. (2007). *Decentralized-participatory plant breeding: an example of demand driven research*, Euphytica, 155: 349-360.
- Ceccarelli S., Grando S., Maatougui M., Michael M., Slash M., Haghparast R., Rahmanian M., Taheri A., Al-Yassin A., Benbelkacem A., Labdi M., Mimoun H., Nachit M. (2010). *Plant breeding and climate changes*. The Journal of Agricultural Science 148 (6): 627-637.
- Chable V., Nuijten E., Costanzo A., Goldringer I., Bocci R., Oehen B., Rey F., Fasoula D., Feher J., Keskitalo M., Koller B., Omirou M., Mendes-Moreira P., van Frank G., Kader A., Jika N., Thomas M., Rossi A. (2020). *Embedding cultivated diversity in society for agro-ecological transition*. Sustainability 12(3): 784.
- Gao X., Giorgi F. (2008). *Increased aridity in the Mediterranean region under greenhouse gas forcing estimated from high resolution simulations with a regional climate model*. Global and Planetary Change 62 (3-4): 195-209.
- Gepts P., Hancock J. (2006). *The future of plant breeding*. Crop Science, 46: 1630-1634.
- Kahiluoto H., Kaseva J., Balek J., Olesen J.E., Ruiz-Ramos M., Gobin A., Kersebaum K.C., Takáč J., Ruget F., Ferrise R., Bezak P., Capellades G., Dibari C., Mäkinen H., Nendel C., Ventrella D., Rodriguez A., Bindi M., Trnka M. (2019). *Decline in climate resilience of European wheat*. Proceedings of the National Academy of Science 116 (1): 123-128.
- Lionello P. (2012). *The climate of the Mediterranean region. From the past to the future*. Elsevier.
- Mead R. (1997). *Designs of plant breeding trials*, In: Statistical Methods for Plant Variety Evaluation, RA Kempton and PN Fox eds, Chapman & Hall, London, pp. 40-67.
- Newton A.C., Akar T., Baresel J.P., Bebeli P.J., Bettencourt E., Bladenopoulos K.V., Czembor J.H., Fasoula D.A., Katsiotis A., Koutis K., Koutsika-Sotiriou M., Kovacs G., Larsson H., Pinheiro de Carvalho M.A.A., Rubiales D., Russell J., Dos Santos T.M.M.,

- Vaz Patto M.C. (2010). *Cereal landraces for sustainable agriculture. A review*, *Agronomy for Sustainable Development*, 30: 237-269.
- Paoli M. (2017). *A proposito di migliaccio e castagnaccio*. Italiano digitale, Accademia della Crusca 2017, 2, (luglio-settembre), pp. 61-63.
- Parry M.L., Mendzhulin G.V., Sinha S. Agriculture and forestry. In: FAR Climate Change: Impacts Assessment of Climate Change, -https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ipcc_far_wg_II_chapter_02.pdf.
- Raaijmakers M., Heining N., Solfanelli F., Ozturk E., Zanoli R., Feher J., Schäfer F., Toncea I. (2020). *Creating incentives for farmers to use organic seed*. LIVESEED Project, p.17.
- Redaelli R., Alfieri M., Cabassi G. (2016). *Development of a NIRS calibration for total antioxidant capacity in maize germplasm*, *Talanta*, 154: 164-168.
- Tafari A., Alfieri M., Redaelli R. (2014). *Determination of soluble phenolics content in Italian maize varieties and lines*, *Tecnica Molitoria International*, 65(15A): 60-69.
- Valoti P., Balconi C., Bocci R., Bussi B., Ceccarelli S., De Santis G., Redaelli R. (2018). *Confronto di varietà locali open: un modello di miglioramento genetico partecipativo per il mais*. In: "I cereali per un sistema agroalimentare di qualità", atti XI Convegno AISTEC, 22-24 novembre 2017, Roma, pp. 298-302.
- Vaz Patto M.C., Moreira P.M., Almeida N., Satovis Z., Pego S. (2008). *Genetic diversity evolution through participatory maize breeding in Portugal*, *Euphytica*, 161: 283-291.

RITA REDAELLI

Laureata in Scienze Biologiche a Milano, ha svolto stages presso l'INRAE a Montpellier e la Michigan State University - USA. Ricercatore presso il Centro di ricerca Cerealicoltura e Colture Industriali, sede di Bergamo, è responsabile del Laboratorio di Chimica e Spettroscopia e si occupa di caratterizzare granella e trinciato di mais da un punto di vista nutrizionale. È responsabile della collezione di avena del Centro, di cui cura il mantenimento, la caratterizzazione e la valorizzazione. È segretario AISTEC dal 2011, autore e coautore di oltre 200 articoli scientifici e tecnici, correlatore di tesi, tutor di stagisti, reviewer di riviste internazionali.

Contatti:

rita.redaelli@crea.gov.it
CREA - Centro di ricerca Cerealicoltura e Colture Industriali, via Stezzano 24, 24126 Bergamo

PAOLO VALOTI

Lavora presso il Centro di Ricerca Cerealicoltura e Colture Industriali sede di Bergamo del CREA come tecnico esperto della Banca del Germoplasma per la conservazione, riproduzione e valorizzazione della biodiversità di mais. Responsabile dell'azienda agraria "La Salvagna" del CREA per le attività dei campi delle prove ufficiali, agronomiche e sperimentali. Ha partecipato ai progetti "Bergamo Experience" e "Mais Expo Bergamo", per l'EXPO mondiale di Milano. Co-autore di pubblicazioni scientifiche, tecniche e divulgative sulle ricerche, culture e colture delle varietà locali a impollinazione libera e della biodiversità dei mais.

Contatti:

CREA - Centro di ricerca Cerealicoltura e Colture Industriali, via Stezzano 24, 24126 Bergamo

CARLOTTA BALCONI

Laurea in Scienze Biologiche a Milano, esperienza triennale di

"visiting scientist" presso MSU - Montana State University - USA; Primo Tecnologo e Responsabile della sede di Bergamo del CREA Centro di ricerca Cerealicoltura e Colture Industriali; responsabile della collezione di mais del Centro; Direttore della rivista internazionale *Maydica*. Coordinatore di progetti di ricerca: i) fisiologia, patologia ed entomologia del mais, ii) studio delle proprietà bioattive di proteine vegetali, iii) identificazione e valorizzazione di risorse genetiche resistenti a stress biotici e abiotici. Leader italiano del Maize Working Group - ECPGR - European Cooperative Program for Plant Genetic Resources (www.ecpgr.cgiar.org). Autrice e co-autrice di oltre 200 contributi scientifici, divulgativi e tecnici.

Contatti:

CREA - Centro di ricerca Cerealicoltura e Colture Industriali, via Stezzano 24, 24126 Bergamo

GIUSEPPE DE SANTIS

Laureato in Agraria a Milano, si è perfezionato a Padova. Dal 1996 è impegnato nella ricerca in agricoltura e l'innovazione per sviluppo rurale e la pianificazione strategica partecipata. Ha collaborato con il mondo delle ONG e con Istituti di ricerca, Università e Agenzie Internazionali. Ha vissuto in Africa e lavorato in America Latina, maturando esperienza nell'ambito della sicurezza alimentare, la pianificazione, lo sviluppo e l'attuazione di politiche e pratiche volti al raggiungimento di sistemi alimentari sostenibili, e nella crescita di reti comunitarie per la transizione ad un modello economico e sociale solidale.

Contatti:

Rete Semi Rurali (RSR), via Casignano 25 - 50018 Scandicci (FI)

BETTINA BUSSI

Laureata in Agraria tropicale e sub-tropicale, ha conseguito un dottorato in Genetica agraria presso l'Università di Firenze. Per più di dieci anni si è occupata di Cooperazione allo sviluppo in Africa e nei Balcani lavorando per alcune ONG e di progettazione e formazione per diverse cooperative sociali in Italia e in Europa tramite un'agenzia di formazione. Dal 2010 lavora con continuità con Rete Semi Rurali e si occupa principalmente di miglioramento genetico partecipativo ed evolutivo, di gestione e conservazione delle risorse genetiche, di ricerca ed innovazione in agricoltura e di animazione delle reti.

Contatti:

Rete Semi Rurali (RSR), via Casignano 25 - 50018 Scandicci (FI)

RICCARDO BOCCI

Laureato in Agraria presso l'Università di Firenze. Dal 2000 al 2009 ha collaborato con l'Istituto Agronomico per l'Oltremare di Firenze su progetti di cooperazione allo sviluppo di conservazione e valorizzazione della biodiversità. Dal 2007 al 2014 è stato responsabile dei progetti europei Farm Seed Opportunities e SOLIBAM per conto dell'Associazione Italiana Agricoltura Biologica. Dal 2007 al 2011 è stato Coordinatore della Rete Semi Rurali. Nel periodo 2010 - 2012 ha collaborato con il Ministero dell'Agricoltura per la redazione delle Linee Guida Nazionali per la Conservazione della Biodiversità Agricola. Dal 2011 è direttore tecnico di Rete Semi Rurali.

Contatti:

Rete Semi Rurali (RSR), via Casignano 25 - 50018 Scandicci (FI)