



Fondo europeo agricolo  
per lo sviluppo rurale:  
*l'Europa investe nelle zone rurali*



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO



# TECNAGRI

## GUIDA ALLE ATTIVITÀ DEL PROGETTO TECNAGRI: PRESENTAZIONE E ORGANIZZAZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE

**TECNologie innovative per la stabilizzazione di prodotti AGRicoli  
con il contributo della Misura 124 - (DRD n.209 del 30/10/2014)**



Programma  
di Sviluppo Rurale  
**PSR CAMPANIA**  
2007/2013

**Campania Qualità Quotidiana**

La redazione di questa Guida è a cura di  
***Anna Angela Barba, Annalisa Dalmoro e Silvestro Caputo***

La Guida è stata chiusa il 12 luglio 2015.

La Guida è scaricabile in pdf dal sito  
*<http://www.minerva.unisa.it/tecnagri/home>*

# SOMMARIO

<b>PARTE GENERALE</b> .....	<b>5</b>
<b>PRESENTAZIONE E SCOPI DEL PROGETTO TECNAGRI</b> .....	<b>7</b>
<b>I PARTNER DEL PROGETTO TECNAGRI</b> .....	<b>11</b>
CONSORZIO PER LA RICERCA APPLICATA IN AGRICOLTURA - CRAA.....	11
AZIENDA AGRICOLA SPERIMENTALE REGIONALE IMPROSTA.....	12
AZIENDA NUTRIR SRL.....	13
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO.....	13
<b>PIANO DELLE ATTIVITÀ DEL PROGETTO TECNAGRI</b> .....	<b>15</b>
<b>ANALISI DI FILIERA DELLE PRODUZIONI AGRICOLE DI CEREALI E LEGUMINOSE DA GRANELLA IN CAMPANIA</b> .....	<b>17</b>
CEREALI.....	17
LEGUMINOSE DA GRANELLA.....	18
<b>PARTE TECNICA</b> .....	<b>19</b>
<b>RUOLO DEI CEREALI E DELLE LEGUMINOSE DA GRANELLA NELLA DIETA UMANA</b> .....	<b>21</b>
CEREALI: NOTE AGRONOMICHE E PROPRIETÀ NUTRIZIONALI.....	21
LEGUMI: NOTE AGRONOMICHE E PROPRIETÀ NUTRIZIONALI.....	22
<b>CAUSE DI DEGRADAZIONE DEI CEREALI E DELLE LEGUMINOSE DA GRANELLA</b> .....	<b>26</b>
<b>STABILIZZAZIONE POST RACCOLTA DEI CEREALI E DELLE LEGUMINOSE DA GRANELLA</b> .....	<b>32</b>
TECNICHE CONVENZIONALI DI STABILIZZAZIONE.....	32
TECNICHE INNOVATIVE DI STABILIZZAZIONE.....	36
<b>PROCESSI DI STABILIZZAZIONE ASSISTITI DA MICROONDE</b> .....	<b>39</b>
GENERALITÀ.....	39
BASI FISICHE DEL RISCALDAMENTO A MICROONDE.....	40
PROPRIETÀ CHIMICO-FISICHE RILEVANTI DEI PROCESSI DI STABILIZZAZIONE A MICROONDE.....	42

<b>APPARECCHIATURE PER I PROCESSI DI STABILIZZAZIONE ASSISTITI DA MICROONDE .....</b>	<b>46</b>
IMPIANTISTICA .....	46
<b>PROTOTIPO A MICROONDE REALIZZATO PER IL PROGETTO TECNAGRI .....</b>	<b>48</b>
<b>PROTOCOLLI DI IRRAGGIAMENTO E DI CARATTERIZZAZIONE MESSI A PUNTO NEL PROGETTO TECNAGRI .....</b>	<b>52</b>
MATRICI IN FORMA DI GRANELLA TRATTATE .....	52
PROCESSI RADIATIVI SU SCALA DI LABORATORIO E CARATTERIZZAZIONI .....	52
<b>PROCESSI DI IRRAGGIAMENTO SU SCALA PROTOTIPALE – COLLAUDO .....</b>	<b>59</b>
LOCALE ATTREZZATO NELL’AZIENDA IMPROSTA .....	59
COLLAUDO .....	62
<b>IL PROGETTO E IL TERRITORIO - DIVULGAZIONE .....</b>	<b>67</b>
LABORATORIO SPERIMENTALE DIMOSTRATIVO PRESSO AZIENDA IMPROSTA .....	69
ATTIVITÀ DIVULGATIVE <i>IN PROGRESS</i> .....	70
<b>INDIRIZZI .....</b>	<b>73</b>
<b>CREDITS .....</b>	<b>77</b>
<b>RINGRAZIAMENTI .....</b>	<b>77</b>

# **PARTE GENERALE**



## PRESENTAZIONE E SCOPI DEL PROGETTO TECNAGRI

Il progetto TECNologie innovative per la stabilizzazione di prodotti AGRICOLI (cereali e leguminose da granella) TECNAGRI - *Progetto finanziato con Misura 124 (DRD n.209 del 30/10/2014)* - nasce dall'idea di realizzare presso l'azienda agricola sperimentale regionale Improsta un polo di riferimento sperimentale per tutte le aziende del settore agro-alimentare che hanno volontà e necessità di innovarsi ricorrendo a nuove tecnologie non adottate perché non note o per pregiudizio. In particolare, l'idea di poter promuovere contatti più fitti tra l'Accademia e l'Azienda per discutere delle criticità di una delle fasi della filiera produttiva più importanti, quella della stabilizzazione dei prodotti di campo post raccolta e in stoccaggio, è stato il nucleo fondante della proposta progettuale. Da qui lo sviluppo di un piano di attività scientifiche, basate sull'uso di campi elettromagnetici per operazioni di sanitizzazione di cereali e leguminose da granella, organizzate in modo organico e funzionale in due fondamentali filoni di sperimentazione. Questi ultimi sono stati pianificati l'uno, su scala di laboratorio, volto prevalentemente alla messa a punto di protocolli di processo e di caratterizzazione dei prodotti trattati; l'altro, su scala maggiore, da realizzare nella azienda regionale a scopo pratico-dimostrativo attraverso la realizzazione di una apparecchiatura a microonde prototipale, per offrire attività di *hands on* alle industrie del territorio.

Il progetto si propone di approfondire le conoscenze sul trattamento innovativo per la stabilizzazione post raccolta di matrici alimentari in granella, tipiche della regione Campania, basato sull'irraggiamento a microonde (processo fisico). Quest'ultimo consiste nel trasferire alle matrici cerealicole e delle leguminose calore attraverso energia elettromagnetica (radiazioni nella regione delle microonde con frequenza 2.45 GHz) derivante da fenomeni dissipativi che si instaurano direttamente nei prodotti da trattare senza l'uso di flussi termici convettivi, in genere forniti con aria calda. La generazione di calore diretta nei materiali processati implica un riscaldamento più rapido e selettivo (si riscaldano in tempi molto brevi e in modo selettivo solo le matrici alimentari, gli organismi infestanti gli eventuali residui organici e non le strutture di impianto) meno oneroso sotto il profilo energetico e a ridotto impatto ambientale.

L'attività di studio che è stata proposta raggiunge l'obiettivo della stabilizzazione delle matrici cerealicole e di leguminose attraverso la riduzione dell'attività dell'acqua (mediante essiccamento) e l'inibizione della proliferazione di infestanti (per morte termica) con l'applicazione di protocolli di trattamento *ad hoc* non degradativi per le granelle trattate. Questi trattamenti sono sviluppati su scala di laboratorio e quindi trasferiti su scala maggiore attraverso l'uso di un'apparecchiatura prototipo realizzata nell'ambito delle attività del progetto TECNAGRI.

L'attività di studio è stata articolata in diverse azioni che comprendono una approfondita caratterizzazione chimico-fisica dei prodotti alimentari, la messa a punto di protocolli di trattamento radiativi, lo sviluppo della progettazione e la realizzazione di un dispositivo a microonde prototipale.

La caratterizzazione chimico-fisica è alla base dello sviluppo dei protocolli di trattamento poiché in relazione alle proprietà termofisiche (conducibilità termica, diffusività termica, proprietà dielettriche, contenuto di umidità) nonché strutturali (porosità, forma) si possono definire i parametri di processo ottimali (potenza radiativa, tempo di esposizione) e procedere quindi alla progettazione più razionale di un dispositivo dedicato. Questa fase della ricerca è rivolta quindi a colmare lacune sulle conoscenze delle proprietà di trasporto del calore delle matrici alimentari di interesse.

Le applicazioni di potenza delle microonde come trattamento fisico di stabilizzazione delle produzioni cerealicole e di leguminose si propongono come strumento di innovazione caratterizzato da elevata efficienza di trasferimento del calore. Partendo dai risultati di letteratura sui protocolli di irraggiamento di matrici alimentari sono condotte analisi di sensitività sul riscaldamento delle matrici di interesse operando con camere riverberanti a microonde su scala di laboratorio. Sono investigate diverse condizioni operative (variazione di potenza, tempi di esposizione, carico trattato, campo delle temperature) per correlare ai parametri di processo alcune proprietà post-trattamento delle matrici irradiate.

Le informazioni dedotte dalle azioni riportate sono quindi utilizzate per sviluppare l'attività progettuale (selezione della componentistica e migliore configurazione impiantistica) finalizzata alla realizzazione di un prototipo dalle caratteristiche più idonee (potenzialità, potenza irradiata).

L'approccio di ricerca proposto (caratterizzazione termofisica – prove di irraggiamento – dimensionamento / adattamento dell'apparecchiatura) presenta l'indub-

bio vantaggio dello sviluppo di *know-how* di trattamento specifico per le matrici cui è dedicata la ricerca ma nello stesso tempo consente la trasmissibilità dell'innovazione al trattamento termico di matrici alimentari differenti. Questo aspetto potrebbe comportare una apertura all'innovazione tecnologica di più ampia portata.

Lo scopo di questa Guida è quello di dare al Lettore una rapida visione di insieme delle attività scientifiche proposte dal progetto TECNAGRI presentando i partner coinvolti, l'articolazione delle attività, i fenomeni di trasporto del calore alla base del riscaldamento assistito da microonde. Pur avendo dei contenuti tecnici, questa Guida presenta in modo divulgativo alcuni dei risultati conseguiti e attesi (il progetto è ancora in fase di svolgimento), rimandando alle pubblicazioni scientifiche, prodotte e in fase di preparazione, per gli approfondimenti sulla ricerca svolta.



*Il Presidente CRAA*  
**Prof. Dr. Silvestro Caputo**



*Il Responsabile scientifico*  
**Prof. Ing. Anna Angela Barba**



## I PARTNER DEL PROGETTO TECNAGRI

Il partenariato che sviluppa il progetto TECNAGRI è costituito dal Consorzio per la Ricerca Applicata in Agricoltura con la controllata azienda sperimentale regionale Improsta; dall'azienda Nutrir S.r.l., dall'Università degli Studi di Salerno, con personale afferente al Dipartimento di Farmacia (responsabile scientifico) e al Dipartimento di Ingegneria Industriale (partecipanti).

Il partenariato è nato in seguito a incontri tra il personale della CRAA, delle Nutrir S.r.l e dell'Università durante eventi scientifici o contatti professionali finalizzati alla discussione di problematiche relative alla produzione e trasformazione di matrici agro-alimentari, soprattutto, ma non solo, cerealicole.

### CONSORZIO PER LA RICERCA APPLICATA IN AGRICOLTURA - CRAA



Il Consorzio per la Ricerca Applicata in Agricoltura – CRAA - è stato costituito nell'anno 1981 sotto forma di ASSOCIAZIONE riconosciuta ai sensi dell'art.14 e seguenti del C.C.. Fanno parte dell'associazione CRAA i membri costituenti: Regione Campania; Università Federico II di Napoli; Università di Salerno; Università del Sannio. Successivamente hanno aderito al CRAA, la Seconda Università degli

Studi di Napoli, oltre ad ARCA 2010 Scarl.

Lo scopo dell'associazione CRAA è quello di integrare e mettere in sinergia, alcune tra le istituzioni più rappresentative tra quelle che, in Campania, si dedicano alla innovazione nel campo agricolo e agroalimentare, in modo da sommare le forze e costituirsi come un punto di riferimento per lo sviluppo economico e sociale del territorio regionale.

Il CRAA promuove e realizza progetti di ricerca applicata, attraverso la attivazione e il consolidamento di una fitta collaborazione tra i vari centri di competenza dislocati nelle strutture dei suoi soci, prima di tutto, ma anche dando luogo a specifici accordi di scambio con soggetti ed enti che stanno all'esterno. Del sistema CRAA fa anche parte la Azienda agricola sperimentale Improsta di Eboli, un laboratorio all'aperto. L'Azienda Improsta si sta sempre di più accreditando come un terreno "di rodaggio" dei modelli produttivi avanzati per agricoltura e zootecnia.

Il CRAA ha già da tempo avviato un articolato programma di diffusione sul territorio regionale dei risultati più significativi delle ricerche realizzate. Le acquisizioni principali ed i risultati dell'attività di ricerca dei gruppi di esperti messi in campo

dai Soci, vengono diffusi ed illustrati nei convegni e seminari tematici organizzati allo scopo.

### *Ruolo del CRAA nel progetto TECNAGRI*

Il Consorzio CRAA, nella sua qualità di soggetto capofila, svolge funzioni di direzione amministrativa e di coordinamento dei partner. Inoltre sono di sua competenza tutti quegli adempimenti propedeutici e necessari ad una corretta rendicontazione delle spese sostenute dal partenariato per la realizzazione del progetto.

## **AZIENDA AGRICOLA SPERIMENTALE REGIONALE IMPROSTA**



Il CRAA gestisce l'azienda agricola sperimentale regionale Improsta. L'azienda Improsta dai primi anni '50 faceva parte dell'Ente Nazionale Cellulosa e Carta (ENCC). Nel 2003 è stata acquisita dalla Regione Campania ed è diventata Azienda Sperimentale gestita e amministrata dal CRAA. L'azienda

si estende su circa 140 Ha in un unico corpo fondiario diviso in diversi appezzamenti che ospitano una collezione unica del germoplasma viticolo, olivicolo, frutticolo e agrumicolo campano. Interessanti sono la collezione di pioppi e altre coltivazioni sperimentali per l'arboricoltura da legno oltre a erbai per la produzione di foraggi impiegati nell'allevamento bufalino. L'azienda dispone di immobili di interesse storico, tra cui l'edificio principale in stile vanvitelliano, una bufalara con annessa chiesetta, un edificio per le attività amministrative, laboratori scientifici, un locale destinato ad enoteca regionale, un piccolo caseificio, ed altre strutture a carattere polifunzionale. L'azienda, oltre a rappresentare un polo di eccellenza nella produzione del latte bufalino e di prodotti agricoli, svolge un ruolo di primo piano nella ricerca applicata in agricoltura avendo già sviluppato numerosissimi programmi di ricerca.

### *Ruolo dell'azienda agricola sperimentale regionale Improsta nel progetto TECNAGRI*

Il CRAA attraverso la sua azienda agricola sperimentale regionale Improsta svolge anche funzione di produttore primario fornendo le matrici oggetto della speri-

mentazione e partecipando allo sviluppo dei trattamenti a microonde. L'Improsta è la sede deputata all'allestimento di un impianto pilota dimostrativo progettato per trattamenti di stabilizzazione a microonde di cereali e leguminose da granella.

## AZIENDA NUTRIR SRL



L'azienda Nutrir srl nasce da un'esperienza consolidata nel campo dell'alimentazione animale. Tradizione, innovazione, costante rispetto della qualità e assistenza tecnica qualificata costituiscono i suoi punti di forza. Nell'attuale momento storico che vede l'autoproduzione aziendale più costosa dei listini industriali, Nutrir s.r.l. è in grado di fornire mangimi dalle caratteristiche nutritive costanti, ben formulati e in grado di soddisfare i molteplici fabbisogni degli animali da reddito. Caratterizzata da una capillare organizzazione distributiva, Nutrir s.r.l. offre sia un servizio di consegna puntuale e flessibile, teso a soddisfare le più diversificate esigenze quantitative, sia un'organizzazione commerciale in grado di assistere gli allevatori prima, durante e dopo la vendita. Pertanto, alimentare i propri animali con i mangimi Nutrir vuol dire ottenere un gran reddito aziendale.

### *Ruolo dell'azienda Nutrir srl nel progetto TECNAGRI*

L'azienda Nutrir srl svolge attività di trasformazione e commercializzazione delle matrici oggetto del progetto di ricerca.

## UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO



L'Università degli Studi di Salerno partecipa attraverso ricercatori afferenti a due dei maggiori dipartimenti: il dipartimento di Farmacia (DIFARMA) e quello di Ingegneria Industriale (DIIn).

Le specificità dei dipartimenti citati sono di altissima qualificazione in diversi campi tra cui quelli di maggiore interesse per lo svolgimento della ricerca che si intende sviluppare: dall'ingegneria chimica alla chimica degli alimenti, dalla microbiologia alle scienze delle sostanze naturali, dall'ingegneria meccanica a quella elettronica. In particolare, molte delle attività di ricerca che si effettuano presso i laboratori dei Dipartimenti, sono volte alla completa caratterizzazione chimica, termica e reologica di materiali per il

packaging alimentare e ad uso farmaceutico. Inoltre sono oggetto di studio tecniche innovative di trasformazione / stabilizzazione / analisi di alimenti e materiali ad uso nutraceutico - farmaceutico.

Al progetto di ricerca partecipano ricercatori con diversa specializzazione afferenti ai due diversi dipartimenti le cui competenze disciplinari coprono gli aspetti fondamentali e tecnologico-applicativi delle produzioni agro-alimentari. Tutti hanno una maturata e documentata esperienza su nuove tecnologie di trasformazione, su tecnologie innovative di caratterizzazione (reologica, termica, meccanica e dielettrica), sulla modellazione fisico-matematica dei fenomeni di trasporto.

Il gruppo di lavoro dei ricercatori è coordinato dall'ing. Anna Angela Barba, afferente al DIFARMA, quale responsabile scientifico del progetto, la cui attività scientifica è comprovata da numerose pubblicazioni nel panorama scientifico internazionale.

Le attività sperimentali che sono condotte presso i dipartimenti indicati, nei laboratori del Gruppo TPP (*Transport Phenomena and Processes Group* [www.minerva.unisa.it](http://www.minerva.unisa.it)), riguardano l'intero percorso di ricerca con particolare riferimento alle fasi di caratterizzazione delle matrici di interesse, dell'analisi e della modellazione dei fenomeni di trasporto basilari per lo sviluppo di un protocollo dedicato di trattamento termico, di progettazione del prototipo di applicatore a microonde. Il ruolo dei due dipartimenti coinvolti è quindi centrale per lo sviluppo delle diverse fasi della ricerca e altresì fondamentale nella divulgazione dei risultati attesi per la rete di contatti nazionali ed internazionali che i dipartimenti hanno in qualità di strutture di ricerca.

#### *Ruolo di UNISA nel progetto TECNAGRI*

L'UNISA ha la funzione di pianificare e svolgere tutte le attività scientifiche previste dal progetto mettendo a disposizione l'uso dei propri laboratori per le ricerche in corso; di analizzare e discutere i risultati delle investigazioni svolte; di divulgare i prodotti della ricerca.

## PIANO DELLE ATTIVITÀ DEL PROGETTO TECNAGRI

Nel seguito sono riportati il piano delle attività, le metodologie di indagine e il ruolo dei singoli partner per work package (WP) proposti per la realizzazione del progetto TECNAGRI.

### ***WP1. Analisi e report sulle tecnologie convenzionali in uso***

Personale coinvolto: UNISA, CRAA e NUTRIR

Azione: raccolta dati puntuali sulle tecnologie in uso per la stabilizzazione (disinfestazione/essiccamento) di prodotti cerealicoli delle leguminose da granella di interesse per il territorio regionale con evidenziazione delle maggiori criticità (aspetti legati a: efficacia, costi, sicurezza alimentare, impatto ambientale).

### ***WP2. Sviluppo dei protocolli di caratterizzazione termofisica, meccanica e dielettrica e caratterizzazione delle matrici di interesse***

Personale coinvolto: UNISA, CRAA e NUTRIR

Azione: UNISA: sviluppo di procedure per l'applicazione delle più moderne tecniche di caratterizzazione termofisica (determinazioni di: conducibilità termica, diffusività termica, proprietà dielettriche, contenuto di umidità, proprietà meccaniche, dimensionali, di forma e porosità) a campioni rappresentativi delle matrici alimentari in questione (post raccolta, durante stoccaggio, in trasformazione) fornite da CRAA e in uso presso NUTRIR. Particolare enfasi sarà posta su: correlazioni proprietà / stato dei materiali (in post-raccolta, in stoccaggio, in trasformazione); caratterizzazione dielettrica (abilità a trasformare l'energia elettromagnetica in calore) delle matrici alimentari di interesse anche in relazione ad infestanti, contaminanti organici (residui vegetali).

### ***WP3. Definizione del processo innovativo di potenziale applicazione alle matrici di interesse***

Personale coinvolto: UNISA

Azione: analisi dei dati raccolti dall'attività WP2; definizione razionale protocollo delle analisi termofisiche di maggiore rilievo pre-trattamento (finalizzato a controlli on-line nelle fasi applicative reali); definizione fasi operative di trattamento (operazioni preliminari, irraggiamento, post trattamenti); definizione razionale protocollo analisi termofisiche post-trattamento (finalizzato a controlli on-line nelle fasi applicative reali).

### ***WP4. Modellazione del processo ed analisi di sensitività dei parametri operativi***

Personale coinvolto: UNISA

Azione: descrizione fisico-matematica dei fenomeni di trasporto calore e materia inducibili nei materiali caratterizzati quando esposti a irraggiamento a microonde; simulazione dell'analisi di sensitività dei principali parametri di processo (umidità ini-

ziale matrici e loro fattore di perdita, potenza di irraggiamento, tempo di irraggiamento, configurazione di irraggiamento dei materiali).

#### ***WP5. Applicazione e testing del processo su scala di laboratorio***

Personale coinvolto: UNISA, CRAA e NUTRIR

Azione: sviluppo di procedure per operazioni di irraggiamento in condizioni statiche in cavità riverberanti a microonde (frequenza 2.45 GHz; potenza variabile in condizioni di diversa configurazione del carico) di campioni rappresentativi delle matrici alimentari in questione (post-raccolta, durante stoccaggio, in trasformazione) fornite da CRAA e in uso presso NUTRIR. Particolare enfasi sarà posta su: effetti dell'irraggiamento in relazione allo stato dei materiali (in post-raccolta, in stoccaggio, in trasformazione) attraverso misure del campo delle temperature nei campioni; test germinazione / inibizione sviluppo infestanti nei materiali post-trattamento.

#### ***WP6. Progettazione delle macchine prototipo e analisi delle problematiche di scale-up***

Personale coinvolto: UNISA, CRAA

Azione: UNISA- individuazione miglior dispositivo a microonde per l'irraggiamento in continuo dei prodotti granulari di interesse; progettazione (dimensionamento strutturale, potenza radiativa, potenzialità di impianto); selezione componenti specifici per l'irraggiamento (numero e potenza dei magnetron, guide d'onda etc) e altre parti strutturali (tramoggia di carico e scarico, nastro trasportatore per dispositivo a tunnel o tamburo per dispositivo a cilindro rotante etc.) avvio contatti con fornitori; CRAA - individuazione dell'ambiente e predisposizione dei servizi tecnici per l'ubicazione e la messa in esercizio del prototipo.

#### ***WP7. Realizzazione e collaudo del prototipo***

Personale coinvolto: UNISA, CRAA, NUTRIR

Azione: UNISA - interfacciamento con ditta per la realizzazione del prototipo come da specifiche di progetto; CRAA acquisizione, installazione del prototipo; UNISA, CRAA e NUTRIR – test di collaudo, prove sulle matrici alimentari di interesse. UNISA CRAA – addestramento personale per conduzione dell'apparecchiatura.

#### ***WP8. Disseminazione dei risultati e informazione delle aziende interessate all'innovazione di processo***

Personale coinvolto: UNISA, CRAA e NUTRIR

Azione: UNISA - realizzazione di un sito web; pubblicazioni dei risultati ottenuti su giornali internazionali di alto impatto nel settore di food processing e food preservation; UNISA e CRAA - produzione di materiale informativo cartaceo e digitale; UNISA, CRAA e NUTRIR – organizzazione di incontri formativi / dibattiti su criticità e problematiche legate ad innovazioni di processo desiderate dal tessuto produttivo, organizzazione di convegno.

## ANALISI DI FILIERA DELLE PRODUZIONI AGRICOLE DI CEREALI E LEGUMINOSE DA GRANELLA IN CAMPANIA

Le attività economiche nelle filiere dei cereali e delle leguminose da granella sono censite con i codici ATECO 2007 “A.01.1.11 Coltivazione di cereali (escluso il riso), legumi da granella e semi oleosi” e “A.01.1.12 Coltivazione di riso”, per un totale di 6224 aziende operanti in Campania contro le circa 137007 operanti in Italia.

### CEREALI

I cereali sono piante erbacee con frutti o semi ricchi in amido dai quali si può ottenere farina. Sono coltivati in quantità ingenti e costituiscono uno degli alimenti principali della dieta umana. Si tratta di prodotti di facile coltivazione, alta digeribilità e buona conservabilità; forniscono principalmente amidi ma anche proteine, e il tenore proteico sta diventando il principale parametro per la valutazione della qualità dei prodotti. In Campania sono significative le produzioni di frumento tenero e duro, orzo, avena e mais. La struttura della filiera per la produzione dei cereali è organizzata in: industria sementiera, produzione agricola, stabilizzazione, stoccaggio, molitura, trasformazione. In particolare, in Campania la trasformazione dei cereali in pasta alimentare è significativa per volume di produzione e qualità.

<i>Tipo di granella</i>	<i>Territorio nazionale</i>	<i>Regione Campania</i>
<i>mais</i>		
produttività [t/anno]	6.823.423,0	119.479,0
superficie dedicata alla coltura [ha]	808.317,0	16.680,0
resa [t/ha]	8,44	7,17
<i>frumento duro</i>		
produttività [t/anno]	4.158.368,5	189.621,5
superficie dedicata alla coltura [ha]	1.271.251,0	59.609,0
resa [t/ha]	3,27	3,18
<i>frumento tenero</i>		
produttività [t/anno]	3.432.101,8	68.475,8
superficie dedicata alla coltura [ha]	611.195	19.278
resa [t/ha]	5,61	3,55
<i>orzo</i>		
produttività [t/anno]	689.355,5	52.854,9
superficie dedicata alla coltura [ha]	189.527,0	13.939,0
resa [t/ha]	3,63	3,79
Avena, Segale, Sorgo ed altri cereali hanno una scarsa valenza e produzione.		

Fonte: ISTAT - 2013 (Sezione agricoltura e zootecnica tab C 01 tab C 02).

## LEGUMINOSE DA GRANELLA

Le leguminose da granella sono piante con semi ad elevato contenuto proteico, complementari ai cereali nell'alimentazione umana. Sono coltivazioni molto diffuse; in Campania sono significative per volume, qualità e tradizione agricola le produzioni di fava, fagiolo e cece, mentre sono trascurabili le produzioni di piselli e lenticchie. La struttura della filiera per la produzione delle leguminose da granella è organizzata in: industria sementiera, produzione agricola, stabilizzazione, stoccaggio, trasformazione.

<i>Tipo di granella</i>	<i>Territorio nazionale</i>	<i>Regione Campania</i>
<i>fava</i>		
produttività [t/anno]	49.778,5	5.520
superficie dedicata alla coltura [ha]	27.921,0	2.530
resa [t/ha]	1,78	2,18
<i>pisello</i>		
produttività [t/anno]	8.658	12,5
superficie dedicata alla coltura [ha]	3.750	5,0
resa [t/ha]	2,3	2,5
<i>cece</i>		
produttività [t/anno]	10.466	755,1
superficie dedicata alla coltura [ha]	36.797	404
resa [t/ha]	1,54	1,86
<i>fagiolo</i>		
produttività [t/anno]	1.571,4	18,0
superficie dedicata alla coltura [ha]	1.950,0	18,0
resa [t/ha]	0,8	1,0

Fonte: ISTAT - 2013 (Sezione agricoltura e zootecnica tab C 03 tab C 04).

## **PARTE TECNICA**



## RUOLO DEI CEREALI E DELLE LEGUMINOSE DA GRANELLA NELLA DIETA UMANA

### CEREALI: NOTE AGRONOMICHE E PROPRIETÀ NUTRIZIONALI

La coltivazione e il consumo dei cereali risalgono ad epoche remote. Quelle dei cereali sono state le prime piante utilizzate dall'uomo per usi alimentari per versatilità e buona conservabilità dei prodotti. La loro coltivazione corrisponde nella storia dell'uomo, al momento in cui da cacciatore diventa agricoltore. Alcuni studiosi ritengono che la zona di origine di queste colture fosse situata a est del Mediterraneo, dove crescevano spontaneamente alcuni cereali selvatici, progenitori dell'orzo e del frumento. Quest'area comprende attualmente alcuni paesi come la Siria, la Turchia, l'Iran e l'Iraq. Il legame con i prodotti della terra ha trasformato l'uomo da nomade a sedentario determinando la nascita delle civiltà nelle diverse parti del mondo. Nel corso dei secoli queste matrici vegetali hanno subito vari cambiamenti; le specie ora coltivate presentano caratteristiche molto diverse rispetto a quelle primitive.

Cereali, da Ceres, Cerere, dea romana delle messi e dei campi, è un termine usato per riferirsi ad alcuni prodotti agricoli con semi o frutti, ricchi di amido, dai quali si ricava "farina". Quindi il termine cereale è esteso anche ad altre piante, non monocotiledoni, come le graminacee, e dicotiledoni, come il grano saraceno (*Fagopyrum esculentum* – Fam. *Polygonaceae* -), quinoa (*Chenopodium quinoa* – Fam. *Chenopodiaceae*). Alla famiglia delle graminacee (Poaceae), monocotiledoni, appartengono quelli che comunemente chiamiamo cereali: frumento, orzo segale, avena, riso, miglio, panico, sorgo, mais.

Le specie graminacee sono piante con apparato radicale fascicolato costituito da radici primarie che hanno origine dalla germinazione della cariosside e da radici secondarie che si sviluppano successivamente a quelle primarie e costituiscono in tutte le specie la parte preponderante dell'apparato radicale. Il fusto, cilindrico e cavo, è detto "culmo", esso presenta degli ingrossamenti detti nodi, che dividono il culmo in internodi in numero variabile a secondo della specie. Dai nodi si dipartono le foglie (distiche), con la guaina che avvolge e protegge gli internodi (fusto). La guaina continua con la lamina lineare e parallelinervia, il cui inizio è segnato dalla ligula e dalle auricole. Il culmo, termina con la caratteristica infiorescenza che è una spiga o una pannocchia o un racemo; nel mais l'infiorescenza femminile è una spadice. Ogni infiorescenza porta delle spighe costituite da una rachilla su cui sono inserite, in posizioni opposte, delle bratte. Di esse le due basali non portano fiori alla loro base e sono chiamate glume mentre le altre, dette glumelle o glumette racchiudono uno o più fiori. Il fiore è unisessuale nel mais ed ermafrodita nelle altre specie.

Una volta avvenuta la fecondazione anemofila, la spiga stessa si trasforma in un'infruttescenza che porta numerosi e piccoli frutti secchi detti cariossidi o comu-

nemente chicchi. La forma, le dimensioni, il colore, la composizione, la struttura variano con la specie e la varietà. Dalla cariosside si ottengono alimenti e prodotti alimentari di altissima valenza nutrizionale, sfarinati, prodotti da forno che sono riccamente presenti sulle nostre tavole.

I cereali di più largo consumo sono il frumento, il mais, l'orzo, il riso e la segale, mentre avena, sorgo e miglio vengono utilizzati prevalentemente per l'alimentazione del bestiame<sup>1</sup>.

Sono piante annuali, suddivisibili, in base all'epoca di semina e di raccolta, in vernini e estivi. La loro distribuzione geografica dipende generalmente dalle esigenze climatiche e ambientali, ma anche dalle abitudini alimentari delle varie popolazioni. Si tratta di prodotti di facile coltivazione, anche in condizioni estreme, che non consentono altre colture. Una peculiare caratteristica è l'ampia adattabilità ad ambienti diversi. Infatti, alcune specie si sono adattate a climi temperati (specie microtermi: frumento, orzo, avena, segale e triticale), altre specie si sono originate nei climi tropicali e sono caratterizzate da particolari esigenze termiche<sup>2</sup> (specie macrotermi: mais, sorgo, riso, miglio, panico)

Le coltivazioni cerealicole danno un prodotto a ridotto tenore di umidità (10-12%), di facile trasporto e con buone caratteristiche di conservabilità. I cereali, dal punto di vista nutrizionale sono alimenti con elevato potere calorico, con apprezzabile contenuto proteico, lipidico e di sali minerali. In particolare il principale ruolo nutritivo dei cereali è dovuto all'elevato contenuto in amido che rappresenta il polisaccaride di riserva, fonte di energia a lento rilascio (che può essere utilizzata gradualmente nel tempo). Per questa caratteristica i cereali coprono mediamente il 50% del fabbisogno calorico giornaliero. Se assunti nella forma non raffinata (forma integrale), i cereali possono essere anche fonte nutritiva ricca di fibre. I cereali essendo fonti non ricche di aminoacidi, proteine e vitamine non devono costituire l'unica fonte alimentare<sup>3</sup>.

## LEGUMI: NOTE AGRONOMICHE E PROPRIETÀ NUTRIZIONALI

Le leguminose da granella costituiscono un gruppo di colture annuali aventi caratteristiche botaniche, agronomiche e nutrizionali abbastanza omogenee. Esse rivestono una notevole importanza alimentare, sia per l'alimentazione umana che per

1 <http://www.treccani.it/enciclopedia>

2 Basso, *Piante alimentari Cereali e Proteaginose - aspetti biogranomici qualitativi e nutrizionali*, Pitagora Editrice Bologna; (2007), Baldoni e Giardini, *Coltivazioni erbacee - Cereali e Proteaginose*, vol. 1, Pàtron Editore. 2000

3 Cappelli e Vannucchi, *Chimica degli alimenti - Conservazione e trasformazione*, III Edizione, Zanichelli, 2011

gli animali domestici, perché capaci di fornire granella altamente proteica, tanto da essere denominate piante “proteaginose”.

La coltivazione delle leguminose ha origini antichissime come confermano i ritrovamenti archeologici fatti risalire a 7 mila, 8 mila anni a.C., di semi di diverse specie di leguminose, ritrovati insieme a quelle di cereali, che in condizioni ambientali ottimali di temperatura ed umidità si sono presentate in buono stato, attestazione anche significativa di una ricerca primordiale dell'uomo di prodotti ad elevata conservabilità, altamente nutritivi ed a valore biologico differenziato e complementare.

Dal punto di vista botanico, le leguminose, piante erbacee o arbustive, sono una famiglia di piante Dicotiledoni appartenenti all'ordine delle *Fabales*, famiglia *Fabaceae* (chiamate anche *Leguminosae*), sottofamiglia *Papilionaceae*. Tra le specie più coltivate a scopo alimentare, si contraddistinguono numerose varietà appartenenti ai generi: *Phaseolus* (fagiolo), *Vicia* (fava), *Pisum* (pisello), *Cicer* (cece), *Lens* (lenticchia), *Glycine* (soia), comunemente detti legumi dal tipo di frutto, legume o baccello, costituito da un carpello che racchiude i semi, il quale a maturità, aprendosi in due valve (deiscente) mette in evidenza la parte edibile, cioè il seme. Con riferimento alle caratteristiche della germinazione, le leguminose possono essere suddivise in due grandi gruppi: a germinazione epigea e ipogea. In quelli a germinazione epigea come le *Phaseoleae* (fagiolo, soia), i cotiledoni, racchiusi ordinatamente all'interno del tegumento, emergono sulla superficie del terreno per azione dell'asse ipocotile che si accresce rapidamente. Queste specie possono considerarsi macroterme a semina primaverile obbligatoria. Nel secondo gruppo, l'ipocotile resta a sviluppo limitato e i cotiledoni, all'interno del tegumento, rimangono nel terreno, mentre l'epicotile si accresce fino alla superficie del suolo portando in cima le prime due foglioline. A questo gruppo appartengono le *Vicieae* (fava, pisello, cece, lenticchia e cicerchia) che possono considerarsi microterme a semina autunnale<sup>4</sup>.

Le leguminose da granella sono specie agronomiche, il cui seme è di grande importanza nell'alimentazione umana ed animale, grazie al loro elevato contenuto proteico (20–40%). La composizione chimica varia quantitativamente in base alla specie. È noto che la distribuzione di amminoacidi essenziali nelle proteine delle leguminose non si presenta completa ed equilibrata a differenza di quella delle proteine animali. La composizione amminoacidica delle proteine risulta, inoltre, carente in amminoacidi solforati (metionina e cistina) e triptofano e abbondante in lisina, situazione opposta a quanto si verifica nei cereali che sono carenti in lisina e ricchi in amminoacidi solforati. Tale carenza viene tuttavia eliminata con una appropriata dieta alimentare che prevede un apporto bilanciato di proteine di legumi e di proteine di cereali, complementarietà che è molto evidente in alcuni piatti tipici (zuppe di ce-

---

<sup>4</sup> Basso, *Piante alimentari Cereali e Proteaginose - aspetti biogranomici qualitativi e nutrizionali*, Pitagora Editrice Bologna, 2007

reali e fagioli). Le proteine più rappresentate nei semi maturi sono le globuline (faseolina e legumine) che rappresentano proteine di riserva localizzate nei corpi proteici. Albumine e gluteline costituiscono, invece, componenti strutturali e funzionali. I legumi sono alimenti ricchi in nutrienti essenziali e contengono in più 2 o 3 volte le proteine dei cereali e rappresentano una buona fonte di alcune vitamine, in particolare appartenenti al gruppo A e C (tiamina, niacina, biotina e acido folico), discreti quantitativi di sali minerali (ferro, calcio, potassio) e polisaccaridi (amido e fibra) che esplicano importanti effetti fisiologici e metabolici e favoriscono la funzionalità dell'intestino, svolgendo un ruolo protettivo verso alcune patologie dell'apparato digerente. I carboidrati rappresentano il 60% del peso secco dei semi e sono costituiti da carboidrati complessi o polisaccaridi (amido e fibra) e da zuccheri.

L'amido costituisce il 40-50% dei legumi secchi ed è costituito a sua volta da due frazioni di amilosio e di amilopectina in rapporto di 1:3, e viene assorbito a livello intestinale grazie alla degradazione ad opera delle amilasi intestinali in glucosio. Tuttavia contiene una frazione che resiste all'azione idrolitica delle amilasi intestinali (amido-resistenti) e quindi non assorbita dall'intestino ma assume la valenza di fibra. In relazione ai trattamenti termici, varia la percentuale delle diverse frazioni, nei semi crudi il 20-40% è costituito da amido resistente, mentre questa percentuale viene ridotta se sottoposta a trattamenti termici, ovvero la cottura che aumenta la digeribilità per inattivazione di enzimi proteolitici. I legumi sono, inoltre, un'eccellente fonte di fibra alimentare, sia insolubile che solubile. La fibra solubile è costituita da cellulosa ed emicellulosa che stimolano la motilità intestinale, mentre la fibra insolubile è costituita da pectine che giunte a livello del colon inalterato subiscono processi di fermentazione per opera della microflora con produzione di acidi grassi che contribuiscono alla protezione della mucosa epiteliale del colon e nel metabolismo dei lipidi e dei glucidi, abbassando il livello di colesterolo e glucosio plasmatici. I carboidrati complessi dei legumi svolgono molteplici effetti positivi sulla salute: un basso indice glicemico, controllo del transito intestinale, effetto protettivo verso il cancro del colon e malattie cardiovascolari, nonché abbassamento dei livelli plasmatici di colesterolo e trigliceridi.

Gli zuccheri sono costituiti essenzialmente da saccarosio e in particolare alfa-galattosidi, (raffiniosio, stachiosio e verbascosio) responsabili della flatulenza.

I lipidi sono presenti nei legumi in quantità modeste, sono costituiti per il 60% da acidi grassi polinsaturi e contengono quantità limitate di fitosteroli. L'elevato potere nutrizionale della granella delle leguminose è spesso limitato dalla presenza di fattori antinutrizionali, potenzialmente tossici o dannosi. Fattori antinutrizionali di natura proteica sono le lectine e gli inibitori enzimatici delle proteasi (tripsina e chimotripsina) e dell'alfa-amilasi, mentre tra quelle di natura non proteica si annoverano i fenoli, i fitati, gli alfa-galattosidi e le saponine.

Alle leguminose è riconosciuta, sin dall' antichità, una notevole importanza dal punto di vista agronomico per scopi di miglioramento e fertilizzazione dei terreni. Infatti le leguminose hanno la capacità di fissare l'azoto atmosferico. Microrganismi azoto-fissatori simbiotici (genere *Rhizobium*) trasformano l'azoto atmosferico in composti azotati prevalentemente assorbiti dalla leguminosa stessa, mentre una porzione dei sali rimane nel terreno, aumentandone così la fertilità. Per queste proprietà esse sono utilizzate in rotazione o come specie da sovescio. Per quanto concerne invece la preparazione del letto di semina, essa è eseguita con tecniche di semina diretta su terreni coperti da residui colturali della specie precedentemente coltivata, solitamente una graminacea, del tipo frumento, mais e orzo<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Baldoni e Giardini, *Coltivazioni erbacee - Cereali e Proteaginose*, vol. 1, Pàtron Editore, 2000

## CAUSE DI DEGRADAZIONE DEI CEREALI E DELLE LEGUMINOSE DA GRANELLA

Le derrate agricole, in particolare cereali e legumi, possono andare incontro ad alterazioni e/o modificazioni dal momento della raccolta e durante lo stoccaggio. Tali modificazioni assumono l'aspetto di una vera e propria degradazione progressiva che non si limita soltanto all'alterazione dei caratteri organolettici, ma prima che il prodotto diventi poco accettabile o addirittura, sgradevole, e quindi non commerciabile, si hanno degradazioni a carico dei principi alimentari/funzionali con conseguente diminuzione del valore nutritivo<sup>6</sup>. Inoltre in molti casi esiste la possibilità che si formino ambienti favorevoli allo sviluppo di batteri patogeni o loro tossine, virus e altri micro e macroparassiti come funghi, protozoi, vermi nonché di loro metaboliti tossici. Gli alimenti contaminati non sono quindi più sicuri per la salute e possono diventare causa, se ingeriti di malattie di vario tipo quali intossicazioni e avvelenamenti, tossinfezioni alimentari, malattie infettive e altre malattie degenerative. Conoscere e determinare l'entità e il tipo dei contaminanti eventualmente presenti in alimento è essenziale per procedere con i metodi di sanitizzazione più opportuni<sup>7</sup>.

La contaminazione è, nella maggior parte dei casi, accidentale e può avvenire durante le diverse fasi della filiera produttiva e di trasformazione. Per ogni fase della filiera i rischi di contaminazione più probabile sono i seguenti:

- contaminazioni in fase di produzione (materie prime) ad opera dell'acqua, aria, suolo;
- contaminazioni in fase di lavorazione, dipendono prevalentemente dall'ambiente di lavoro e dal personale che manipola le derrate in lavorazione;
- contaminazioni in fase di conservazione, stoccaggio e commercializzazione del prodotto.

### Principali cause di degradazione di cereali e legumi in *post* raccolta

Sono da considerare possibili e principali fattori di contaminazione: l'ambiente (suolo, acqua, aria e condizioni ambientali come l'umidità, il contatto con l'ossigeno dell'aria, l'esposizione alla luce, le temperature troppo elevate, forti sbalzi di temperatura e agenti biologici ecc.), il personale a contatto, le attrezzature e i locali di trasformazione e di stoccaggio<sup>8</sup>.

Le cause di alterazione, spesso fra loro concatenate, sono suddivisibili in:

6 *Pacifici, Conoscere gli alimenti, Vol. 88, Enciclopedia Sansoni, Firenze, 1978*

7 *Roggi e Turconi, Igiene degli alimenti e nutrizione umana, la sicurezza alimentare, II Ed, EMSI (Edizioni Mediche Scientifiche Internazionali - Roma, 2007*

8 *Tiecco, Igiene e tecnologia alimentare, Il Sole 24 Ore Edizione Agricole, Bologna, 2001*

- cause biologiche (enzimi presenti nell'alimento stesso, microrganismi);
  - cause chimiche (presenza di sostanze chimiche nocive);
  - cause fisiche (fattori ambientali, temperatura, umidità, pH, ossigeno, radiazioni).
- Analogamente gli agenti di contaminazione sono classificabili in agenti di natura biologica, chimica e fisica.

#### *Contaminazioni da agenti microbiologici*

La contaminazione microbica (derivante da materie prime, ambiente esterno, insetti ed altri infestanti, macchine ed impianti di trasformazione non adeguatamente sanitizzati) danneggia le granelle, dapprima degradandone le caratteristiche organolettiche, con alterazioni enzimatiche, poi rendendole un rischio per la salute del consumatore (più o meno grave a seconda della specie contaminante). Le principali alterazioni nella composizione chimica consistono in:

- idrolisi delle proteine e degradazione degli amminoacidi (putrefazione);
- idrolisi dei carboidrati (fermentazioni);
- idrolisi dei lipidi (irrancidimenti);
- ossidazioni degli alcoli.

Le alterazioni descritte portano alla modificazione dei componenti nutritivi delle granelle, associate alla alterazione delle proprietà organolettiche. I microrganismi decompongono le granelle utilizzandole come substrato per la loro moltiplicazione sfruttandone le sostanze nutritive per svolgere le loro funzioni vitali e producendo metaboliti anche pericolosi quali tossine. Il rischio che si verifichi una contaminazione microbica è legata al luogo di provenienza dell'alimento, alle modalità di lavorazione e di conservazione.

In presenza di condizioni ambientali favorevoli, la carica microbica inevitabilmente aumenta e, conseguentemente, anche i patogeni possono raggiungere concentrazioni pericolose, pur partendo da bassi livelli di contaminazione, e raggiungere livelli tali da provocare la degradazione degli alimenti.

I cereali sono stabili anche a temperatura ambiente poiché presentano una ridotta quantità di acqua libera (bassa attività dell'acqua, *aw*), che impedisce la proliferazione microbica. Il pericolo maggiore in questa categoria di alimenti è rappresentato dalle spore di *Bacillus cereus* e da muffe che possono svilupparsi anche in condizioni di scarsa presenza di acqua, tra cui le più pericolose sono quelle del genere *Aspergillus* in grado di produrre aflatossine. Gli inscatolati di cereali e leguminose da granello, invece, se non ben manipolati e trattati termicamente, possono diventare un ottimo terreno di crescita per il *Clostridium botulinum*, che può causare intossicazioni gravissime (botulismo)<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> Roggi e Turconi, *Igiene degli alimenti e nutrizione umana, la sicurezza alimentare, II Ed, EMSI (Edizioni Mediche Scientifiche Internazionali – Roma, 2007*

I cereali e le leguminose favoriscono in particolare la produzione di micotossine (micotossinogenesi) per la presenza soprattutto di amido. I cereali sono le colture più a rischio e sono tra gli alimenti più frequentemente contaminati da aflatossine ed ocratossine. Le micotossine sono metaboliti secondari di muffe, ovvero tossine prodotte da determinati funghi durante la crescita delle piante o successivamente in seguito ad un trattamento improprio o ad una conservazione errata o a volte possono introdursi nella catena alimentare anche attraverso prodotti di origine animale provenienti da bestiame che abbia consumato mangimi contaminati. Aflatossine, fumonisine, tricoteceni e zearalenoni si riscontrano nei cereali e nei semi di alcune leguminose, alla raccolta e possono proliferare anche durante le operazioni di stoccaggio. Le ocratossine, invece, insorgono nei cereali principalmente alla raccolta e nelle fasi di post raccolta. Le contaminazioni possono incrementare anche nelle successive fasi di manipolazione degli alimenti. Infezioni in campo (precedenti alla raccolta) o lesioni meccaniche (in seguito alla raccolta) possono esporre le granelle di cereali e legumi, all'ingresso di spore fungine che germineranno in condizioni di umidità e temperatura favorevoli<sup>10</sup>. In generale le condizioni ambientali favorevoli allo sviluppo delle micotossine dipendono dalla temperatura e dall'umidità sia delle granelle che dell'ambiente.

Le contaminazioni da microrganismi in grado di espletare micotossinogenesi possono condurre:

- alla riduzione della produttività (minor numero di cariossidi, riduzione del loro peso unitario e specifico);
- al peggioramento delle caratteristiche qualitative della granella (distruzione delle pareti cellulari con alterazione della frazione lipidica e riduzione di quella proteica);
- alla diminuzione della germinabilità e del vigore germinativo dei semi;
- all'accumulo.

Per prevenire lo sviluppo di micotossine e quindi gli effetti degradativi è necessaria l'implementazione di scrupolose procedure di controllo e il mantenimento di condizioni adeguate di conservazione<sup>11</sup>. E' stato osservato che una continua assunzione di cibi contaminati da micotossine, possa essere associata all'insorgenza di malattie come cancro del fegato e dei reni oltre che a rappresentare rischi di genotossicità, immunotossicità, mutagenicità e teratogenicità.

---

<sup>10</sup> Cappelli e Vannucchi, *Chimica degli alimenti - Conservazione e trasformazione*, III Edizione, Zanichelli, 2011

<sup>11</sup> C.R.P.V. (Centro Ricerche Produzioni Vegetali), *Linee guida per la riduzione del rischio di contaminazione da micotossine nei cereali autunnovernalini*, 2013.

Nella tabella seguente sono riportate le principali specie fungine, le tossine prodotte e i prodotti più frequentemente contaminati.

<i>Micotossine</i>	<i>Fungo produttore</i>	<i>Alimento contaminato</i>
Aflatossine -B1, B2, G1, G2	<i>Aspergillus flavus, A parasiticus</i>	Arachidi ed altre leguminose, mais ed altri cereali, semi oleosi, noci e mandorle
Zearalenoni -zearalenone -zearalenolo	<i>Fusarium graminearum, culmorum</i>	Mais ed altri cereali
Ocratossine -ocratossina A -ocratossina B	<i>Aspergillus ochraceus, nigri, Penicillium verrucosum</i>	Orzo, mais ed altri cereali. Pane, pasta ed altri prodotti da forno.
Tricoteceni -tossina T2 -deossinivalenolo -nivalenolo (NIV)	<i>F. rosum, F. solani, F. tricinctum ed altri Fusarium Fusarium sporotrichioides, tricinctum, culmorum, graminearum, croockwellense</i>	Mais, orzo ed altri cereali
Fumonisine	<i>F. verticilloides, proliferatum</i>	Mais, prodotti a base di mais
Rubratossine -rubratossina A -rubratossina B	<i>P. rubrum, P. purpurogenum, altri Penicillium spp.</i>	Mais ed altri cereali
Citrina	<i>Penicillium spp.</i>	Cereali

*Principali specie fungine contaminanti cereali e legumi<sup>12</sup>.*

Tra i microrganismi che possono attaccare cereali e leguminose da granella sono diffusi anche i cosiddetti parassiti, fitofagi o più comunemente insetti che sono generalmente dannosi per il seme e la pianta, in quanto possono causare la degradazione totale di interi raccolti stoccati in magazzini o accelerarne ad ogni modo la degradazione. Molte specie hanno peraltro la caratteristica di una spiccata capacità di adattamento alle condizioni ambientali più varie, dovuta alle loro piccole dimensioni, elevata plasticità genetica, sviluppo postembrionale con metamorfosi (attraverso gli stati di uovo, larva, pupa e adulto), strategie riproduttive che consentono rapidi incrementi di popolazione ed elevata tendenza alla dispersione. Il fattore ambientale più rilevante per la loro vita è la temperatura. Gli insetti sono organismi che sopravvivono in intervalli termici che variano a seconda della specie; essi comprendono valori tra 7-10°C e 35-38°C. Se le condizioni termiche ambientali non sono com-

<sup>12</sup> *Manuale di corretta prassi igienica per le imprese agricole (artt. 7 e 8 del regolamento CE n.852 / 2014 sull'igiene dei prodotti alimentari*

prese in tali intervalli lo sviluppo degli insetti si blocca. Le temperature letali sono molto lontane da quella soglia di sviluppo. Per periodi brevi gli insetti sono in grado di sopportare anche temperature estreme (80°C) che quindi non sono sufficienti a determinare la loro morte soprattutto se presenti allo stato di uovo e di pupa (stadi del ciclo riproduttivo più resistenti).

Tra le specie dannose per le colture cerealicole e proteaginose sono da annoverare diverse specie di *Coleotteri*, di *Lepidotteri*, di *Ditteri* e di *Blattoidei*. Le specie più temibili sono quelle che attaccano la parte aerea della pianta e in particolare le porzioni edibili quali semi e granelle. Tipico esempio di infestazione di semi di cereali ma anche sfarinati e pasta sono da attribuire alle specie del genere *Sitophilus*, mentre specie del genere *Acanthoscelides* ed altre varie specie di Tonchi sono responsabili delle infestazioni di semi di leguminose. Nella tabella seguente sono riportate le principali specie infestanti i prodotti più frequentemente contaminati<sup>13</sup>.

<b>Famiglia</b>	<b>Specie</b>	<b>Materiale infestato</b>
<i>Coleotteri</i>		
Tenebrionidae	<i>Tribolium castaneum</i> (Tribolo) <i>Tribolium confusum</i>	Derivati dei cereali, legumi secchi, frutta secca, spezie e varie altre derrate.
Silvanidae	<i>Oryzaephilus surinamensis</i> (Silvano)	
Curculionidae	<i>Sitophilus granarius</i> , <i>Sitophilus oryzae</i> , <i>Sitophilus zeamais</i> (Punteruolo o	Cereali e derivati, frutti secchi, legumi secchi, frutti e semi oleaginosi, tabacco, spezie.
Bostrichidae	<i>Calandra</i> )	
Bruchidae	<i>Rhizopertha dominica</i> (Cappuccino)	Cereali e derivati, pasta, legumi secchi.
Dermestidae	<i>Acanthoscelides obtectus</i> (Tonchio) <i>Callosobruchus maculatus</i> (Tonchio maculato)	Cereali e derivati, semi oleosi, leguminose secche, legno, sughero, carta.
	<i>Trogoderma granarium</i> (Trogoderma)	Leguminose da granella.
<i>Lepidotteri</i>		
Phycitidae	<i>Ephestia kuehniella</i> (Tignola)	Cereali e derivati, semi oleosi, legumi secchi.
Gelechiidae	<i>Sitotroga cerealella</i> (Tignola del grano)	Cereali e derivati, farine, frutta secca, semi oleosi, leguminose da granella;
Pyralidae	<i>Plodia interpunctella</i> (Tignola fasciata)	Cereali da granella. Cereali e derivati, semi oleosi e derivati, frutta secca, arachidi, legumi secchi, cacao.

*Principali specie d'insetti infestanti di colture cerealicole e di leguminose da granella.*

<sup>13</sup> Roggi e Turconi, *Igiene degli alimenti e nutrizione umana, la sicurezza alimentare, II Ed, EMSI (Edizioni Mediche Scientifiche Internazionali – Roma, 2007*

Ai danni diretti causati dagli infestanti, va tenuto in considerazione anche il rischio igienico-sanitario dovuto alla possibile trasmissione di agenti patogeni per l'uomo. Molti tra i fitofagi possono favorire lo sviluppo dei funghi in grado di produrre tossine debilitando la pianta, che diviene più suscettibile ad altri attacchi microbiologici, e creando vie di penetrazione per i funghi nella catena alimentare.

La FAO stima che annualmente la perdita di derrate per cause di degradazione imputabili ad attacchi parassitari nella fase post-raccolta siano dell'ordine di 9% nei Paesi industrializzati; percentuali maggiori, 20-30%, sono raggiunte invece nei Paesi in via di sviluppo. In conclusione, fino ad un quarto della produzione annua di derrate alimentari non possono essere usate per scopi alimentari a causa dell'azione di insetti infestanti e ciò costituisce senza dubbio una ingente perdita economica.

#### *Contaminazioni da agenti chimici*

Le contaminazioni da agenti chimici possono derivare dalle materie prime, dalle macchine ed impianti (per la presenza di residui di additivi, coadiuvanti tecnologici, contaminanti ambientali, detergenti e disinfettanti, metalli pesanti, plastificanti e additivi plastici, presidi sanitari, radioisotopi, residui di fitofarmaci), dalle strutture edilizie, dai servizi ausiliari, dall'ambiente esterno, dal personale. In particolare i fitofarmaci costituiscono un vasto ed eterogeneo gruppo di sostanze chimiche, naturali o di sintesi, utili alla lotta contro specie animali o vegetali nocive per l'uomo, gli animali domestici e le piante stesse. Secondo dati ISTAT, i formulati più utilizzati in campo agricolo e in particolare su colture cerealicole e proteaginose, appartengono al gruppo degli anticrittogamici, seguiti da insetticidi e dai diserbanti. La caratteristica comune di questi principi attivi è la loro attività biocida ad ampio spettro con la conseguenza dunque che la loro azione nociva può estendersi anche nei confronti di altri organismi, animali o vegetali, innocui o addirittura utili. Numerosi, infatti, sono gli episodi di avvelenamenti verificatisi nell'uomo e negli animali, domestici o selvatici, in seguito all'ingestione di derrate contaminate. L'ingestione di pesticidi può dare origine a delle vere intossicazioni che se protratte nel tempo, danno luogo alle cosiddette intossicazioni a lungo termine, infatti la possibile associazione tra esposizione a determinati classi di pesticidi e l'insorgenza di specifiche forme tumorali nell'uomo è rivelabile in numerosi studi epidemiologici<sup>14</sup>.

---

<sup>14</sup> Roggi e Turconi, *Igiene degli alimenti e nutrizione umana, la sicurezza alimentare, II Ed, EMSI Edizioni Mediche Scientifiche Internazionali – Roma, 2007*

## STABILIZZAZIONE POST RACCOLTA DEI CEREALI E DELLE LEGUMINOSE DA GRANELLA

L'applicazione di processi di conservazione è finalizzata a garantire da un lato la sicurezza microbiologica dall'altro la salvaguardia delle caratteristiche nutritive e organolettiche degli alimenti. Per tali scopi negli anni sono state sviluppate numerose tecniche che hanno avuto impatti più o meno rilevanti sulle caratteristiche nutrizionali e qualitative degli alimenti trattati.

I metodi adottati per la disinfezione e quindi la stabilizzazione di derrate alimentari costituite da cereali e leguminose da granella possono essere così classificati<sup>15, 16</sup>:

- tecniche convenzionali, che comprendono metodi chimici (trattamenti con insetticidi di contatto, fumigazioni con gas tossici) e metodi fisici (atmosfera controllate, polveri inerti, uso del calore);
- tecniche innovative, che comprendono diversi metodi (trattamenti ionizzanti, ozonizzazione, impatto, irraggiamento a microonde e a radiofrequenze).

### TECNICHE CONVENZIONALI DI STABILIZZAZIONE

Tra le tecniche convenzionali maggiormente utilizzate per la disinfezione delle granelle di leguminose e cereali, ritroviamo in primo luogo, l'impiego d'insetticidi di contatto e la fumigazione con gas tossici, l'utilizzo di polveri inerti, atmosfera modificate e l'impiego di elevate temperature.

#### Trattamenti chimici

Il trattamento con prodotti chimici rappresenta il mezzo di lotta agli infestanti utilizzato già nel primo dopo guerra, grazie alla produzione di insetticidi di sintesi (gas tossici e nervini) che agivano per contatto diretto. L'utilizzo di questi presidi sanitari, richiede mezzi adeguati, personale autorizzato e qualificato, nonché procedure di monitoraggio delle derrate nella fase di stoccaggio. Questi prodotti sono soggetti ad un'apposita normativa (Regio Decreto 9/1/1927, n. 147), la quale stabilisce che l'uso di fumiganti può essere consentito solo a ditte all'uopo autorizzate, e che il personale addetto all'utilizzo di tali gas tossici debba essere in possesso di idonea abilitazione professionale e preventiva autorizzazione.

<sup>15</sup> Ranalli, *Leguminose ed agricoltura sostenibile, specie da granella e cover crops*, Edizione Agricole Calderini, Bologna, 2001

<sup>16</sup> Cappelli e Vannucchi, *Chimica degli alimenti - Conservazione e trasformazione*, III Edizione, Zanichelli, 2011

I prodotti chimici più diffusi e il cui uso è stato autorizzato in Italia per la disinfestazione delle derrate sono: il bromuro di metile ( $\text{CH}_3\text{Br}$ )<sup>17</sup> e l'idrogeno fosfato o fosfina ( $\text{PH}_3$ ).

Il bromuro di metile,  $\text{CH}_3\text{Br}$ , è commercializzato puro, allo stato liquido, in bombole sotto pressione. A pressione atmosferica ed a temperatura ambiente il liquido si trasforma in gas che esplica la sua azione biocida sulla carica infestante. L'impiego del bromuro di metile è soggetto a limitazioni ed è stato bandito a causa della sua azione lesiva sulla fascia di ozono stratosferico. Il suo impiego è dunque limitato alla geodisinfestazione ed alla fumigazione dei magazzini vuoti, mentre sulle derrate immagazzinate può essere impiegato solo per trattamenti di quarantena. È importante evidenziare che i trattamenti con bromuro di metile (ma anche altri prodotti chimici), risultano essere efficaci sulle forme larvali o adulte, mentre meno efficaci sulle uova. Sono stati segnalati numerosi casi di ceppi resistenti, il che afferma che l'impiego di questi prodotti non sempre assicura un'efficacia biocida completa. Inoltre il rischio collegato a questi interventi è quello di contaminare le derrate con residui chimici tossici, determinando un forte inquinamento ambientale, nonché rischi di intossicazioni dirette verso l'uomo.

La fosfina o idrogeno fosforato,  $\text{PH}_3$ , è prodotta per reazione chimica fra l'agente chimico (magnesio o alluminio fosfuro) ed il vapore acqueo presente nell'ambiente. Commercialmente i preparati per la produzione di fosfina si presentano sotto vari tipi di formulazioni (pellets, compresse, plates); la formulazione viene posta all'interno del magazzino, adeguatamente sigillato, per un tempo variabile in funzione delle caratteristiche del composto attivo (il magnesio fosfuro è più rapido), della formulazione, dell'umidità e della temperatura. La fosfina che viene liberata diffonde nell'intero magazzino, penetra nella massa delle granelle da trattare e causa la morte degli infestanti per asfissia. La fosfina è attualmente il gas tossico più utilizzato nella conservazione delle derrate immagazzinate, tuttavia la sua applicazione presenta alcuni inconvenienti quali: problemi di residui nelle granelle, tempi di trattamento relativamente lunghi e comparsa di ceppi resistenti all'agente chimico.

Per contrastare questi inconvenienti è stata creata una nuova formulazione in cui la fosfina si trova già sotto forma di gas contenuto in bombole in miscela con anidride carbonica (3% di  $\text{PH}_3$  e 97% di  $\text{CO}_2$ ) pronta per essere immessa nel magazzino con apposito erogatore. Questo sistema permette di ridurre i tempi di trattamento e la quantità di principio attivo impiegato, eliminando il problema della resistenza in quanto la presenza di anidride carbonica aumenta le esigenze respiratorie degli insetti, facilitando così l'azione del gas tossico.

---

<sup>17</sup> Dal 1° gennaio 2008 l'uso il bromuro di metile è stato bandito in Italia; le applicazioni consentite sono state ristrette fino al 2014.

## Trattamenti fisici

I trattamenti con atmosfere controllate o modificate, mediante l'impiego di gas inerti quali anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) e azoto (N<sub>2</sub>), si basano sul principio che anche gli insetti hanno bisogno di ossigeno per sopravvivere; riducendone il tenore nelle atmosfere di trattamento, in condizioni favorevoli di temperatura e per determinati tempi, si raggiunge un effetto tossico per gli infestanti per disidratazione ed asfissia<sup>18</sup>.

L'utilizzo dell'azoto (N<sub>2</sub>) come gas inerte è un metodo che ha incontrato molte difficoltà d'impiego, in quanto c'è bisogno che l'ossigeno resti sotto l'1% (cosa possibile solo in magazzini stagni) per un periodo di tempo prolungato. L'azoto viene quindi introdotto nella massa delle granelle sino a raggiungere una concentrazione pari ad almeno il 95% in volume (fase di saturazione). Le percentuali di azoto da raggiungere e mantenere, in relazione al tempo di esposizione, possono variare in base alla tipologia di infestante, alla temperatura e all'umidità. Questa concentrazione deve essere mantenuta per un periodo compreso fra i 7 e i 12 giorni. Durante il trattamento con azoto (che avviene insufflando l'atmosfera modificata nella massa delle granelle tenute in magazzini o silos sigillati) sono condotti monitoraggi sul grado di sanitizzazione raggiunto. Alla fine del trattamento, non essendo l'azoto un gas tossico, non vi sono procedure di evacuazione né sono temuti rischi legati a residui nelle masse trattate.

L'utilizzo dell'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) è applicabile su tutti i prodotti secchi o essiccati stoccati nelle normali strutture di conservazione (sili e magazzini) e prevede il raggiungimento di concentrazioni del 40-60%, raggiungibili anche in magazzini non rigorosamente e perfettamente stagni. L'anidride carbonica è trasportata e stoccata in forma liquida in recipienti alla pressione di 20 atm e alla temperatura di -20°C, oppure in bombole a temperatura ambiente.

I siti di stoccaggio contenenti le masse di granella sono sigillati, l'erogazione dell'atmosfera ricca in CO<sub>2</sub> è fatta in più punti ed in genere viene effettuato un monitoraggio per valutare il grado di disinfestazione raggiunto. Come per l'uso di N<sub>2</sub>, i principali vantaggi derivanti dall'applicazione di CO<sub>2</sub> rispetto ai metodi di disinfestazione chimici sono dovuti al fatto che essa non lascia residui tossici nelle derrate alimentari, determina una efficiente diminuzione della carica batterica e delle muffe tanto da rendere le granelle commercializzabili anche subito dopo il trattamento. L'efficienza di questo metodo è ottima a condizione che vengano rispettate le concentrazioni ed i tempi, che dipendono dalle specie infestanti presenti, dalla temperatura e dall'umidità. L'ostacolo maggiore di questo metodo è insito nei lunghi tempi di esposizione richiesti, in genere compresi tra i 10 e i 20 giorni.

---

<sup>18</sup> Ranalli, *Leguminose ed agricoltura sostenibile, specie da granella e cover crops*, Edizione Agricole Calderini, Bologna, 2001

Il trattamento con polveri inerti (diatomite e bentonite) è un metodo convenzionale di disinfestazione. Si tratta di impiegare polveri silicee a base di farina fossile di diatomee (alghe unicellulari dall'esoscheletro siliceo) o di zeoliti (minerali silicei di origine vulcanica). Queste polveri hanno una granulometria e delle caratteristiche intrinseche tali da interagire con le membrane dello stato di cera epicuticolare degli insetti, provocandone la morte per disidratazione. L'efficacia del metodo diventa scarsa quando l'umidità contenuta nelle derrate supera il 14%. Operativamente le polveri possono essere: miscelate e mescolate alle granelle o distribuite sulla massa; miscelate con acqua e quindi spruzzate sulle pareti dei magazzini vuoti come se si trattasse di un normale insetticida. Il vantaggio relativo al loro uso è quello di avere persistenza elevata e nessun problema circa i residui sui prodotti trattati in quanto non presentano tossicità nei confronti dell'uomo.

Il trattamento con il calore rientra nei metodi di *thermal processing* che sfruttano le alte temperature al fine di distruggere i microrganismi presenti nell'alimento ed inibirne la proliferazione<sup>19</sup>. La maggior parte dei microrganismi che attaccano le derrate, presenta un intervallo di temperatura ottimale, all'interno del quale vivono e/o si riproducono, compreso tra i 25 e i 33°C. Al di sopra di tale intervallo la crescita batterica risulta inibita; per temperature ancora superiori i microrganismi muoiono, in quanto intervengono meccanismi di denaturazione degli acidi nucleici, delle proteine e degli enzimi. A temperature estreme la maggior parte di essi cessa ogni attività rapidamente e la morte sopraggiunge in pochi minuti. La temperatura letale può variare considerevolmente in funzione della specie, dello stadio di sviluppo e dal tempo che l'insetto ha trascorso a temperature prossime a quelle critiche. Di fatto, oltre che al valore raggiunto dalla temperatura occorre considerare sempre anche il tempo di esposizione al calore (binomio tempo temperatura) per essere certi di una efficace azione di sanitizzazione.

I semi di cereali e leguminose possono essere esposti a medie/alte temperature di 55-60°C per 30 minuti circa, per ottenere una buona disinfezione, senza che ciò danneggi la facoltà germinativa o le caratteristiche organolettiche. Uno dei maggiori rischi di fallimento della tecnica è nella difficile realizzazione di un riscaldamento uniforme con la possibilità, quindi, di reinfestazioni. Ovviare al problema applicando tempi più lunghi di trattamento non solo rende la tecnica economicamente non conveniente ma può esporre i prodotti trattati ad alterazioni.

I tempi si possono ridurre aumentando la temperatura a cui si fa avvenire il trattamento (*high temperature short time methods*). Se però le tecniche così concepite non sono applicate con rigore possono aver luogo non solo l'inattivazione dei microrganismi e degli enzimi ma anche notevoli variazioni a carico delle proprietà

---

<sup>19</sup> Cappelli e Vannucchi, *Chimica degli alimenti - Conservazione e trasformazione*, III Edizione, Zanichelli, 2011

nutrizionali ed organolettiche dei prodotti trattati. In particolare le trasformazioni che si verificano a carico dei nutrienti sono: denaturazione delle proteine con perdita di attività biologica e valore nutrizionale, irrancidimento ossidativo dei lipidi, ossidazione ed inattivazione delle vitamine con cambiamenti profondi dei caratteri organolettici quali consistenza sapore, odore e colore.

Affinché il trattamento con il calore sia efficace, vanno pertanto tenuti in considerazione alcuni fattori:

- la conducibilità termica dell'alimento;
- la velocità di penetrazione del calore (legata alle proprietà di trasporto sia dell'alimento che del mezzo riscaldante).

I trattamenti alle alte temperature sono condotti esponendo le granelle a flussi termici conduttivi e convettivi (in genere usando aria calda).

### **TECNICHE INNOVATIVE DI STABILIZZAZIONE**

Nuove tecniche di stabilizzazione sono state proposte al fine di ovviare all'uso di agenti chimici tossici o inerti<sup>20</sup>. Tra queste, quelle a minore impatto ambientale, peraltro non sempre applicabili, sono da menzionare:

<i>Tecnica</i>	<i>Generalità</i>
<i>Aerazione e raffreddamento</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- raffreddamento al di sotto di 20 °C e a circa 8 °C rallenta e arresta rispettivamente lo sviluppo degli insetti; questo solo per infestanti le cui temperature ottimali sono tra 25 °C e 35 °C</li> <li>- refrigeratori per i climi tropicali e subtropicali possono essere gravosi</li> <li>- possibilità di utilizzo di refrigeratori alimentati a energia solare, con notevole risparmio economico</li> <li>- i costi dell'aerazione refrigerata sono la metà rispetto ai costi per i trattamenti chimici</li> <li>- si potrebbe raffreddare a -20 °C in quanto provoca la morte immediata degli infestanti, ma è troppo costoso</li> <li>- poiché il metodo rallenta la crescita e non provoca la morte degli infestanti può essere usato solo come metodo preventivo e non curativo</li> </ul>

<sup>20</sup> Mohapatra, Kar, Giri, *Insect Pest Management in Stored Pulses: an Overview, Food and Bioprocess Technology*, 8 (2) 239 – 265, 2014

<i>Tecnica</i>	<i>Generalità</i>
<i>Riscaldamento dielettrico</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- riscaldamento volumetrico</li> <li>- uccisione di tutti gli stadi degli insetti</li> <li>- la radiofrequenza penetra a profondità maggiori rispetto alle microonde</li> </ul>
<i>Radiazione ionizzante</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- le radiazioni ionizzanti in forma di energia elettromagnetica o di particelle ad alta energia creano ioni tramite rottura dei legami chimici, quindi frammentano la struttura del DNA dell'infestante</li> <li>- i raggi gamma generati dagli isotopi cobalto-60 e cesio-137 sono generalmente utilizzati nel campo alimentare. Le dosi variano a seconda dei paesi da 1 a 10 kgy</li> <li>- a dosi più basse gli insetti vengono sterilizzati, a dosi più elevate si ha una mortalità del 100%</li> <li>- non si sviluppa calore, per cui le qualità funzionali dei semi sono preservate</li> <li>- grandi investimenti, soprattutto riguardo alle norme di sicurezza da seguire</li> </ul>
<i>Impatto</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- trasportatori pneumatici e separatori centrifughi causano la morte degli insetti sottoponendoli a grandi forze ed operando ad alta pressione</li> <li>- metodo può essere utile quando le matrici sono spostate per la vendita</li> </ul>
<i>Trattamento con ozono</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- l'ozono può essere generato elettricamente sul posto al momento dell'uso e non lascia residui</li> <li>- tempi di trattamento dell'ordine dei giorni, che variano a seconda della concentrazione di ozono usata</li> <li>- può essere intaccata la qualità delle matrici</li> <li>- danneggiamento delle apparecchiature in 2 mesi per corrosione</li> <li>- costi proibitivi</li> </ul>

Per usi agricoli il riscaldamento dielettrico è oggi applicato con successo nei trattamenti di disinfestazione post-raccolta di molti prodotti, come il riso e fagioli,

suscettibili di degrado dovuto alla presenza di faune infestanti naturali<sup>21,22</sup>. L'uso delle microonde, in particolare, si propone come una valida alternativa ai metodi chimici di disinfestazione caratterizzati da diversi effetti collaterali, soprattutto in termini di residui indesiderati nelle matrici trattate, tempi di trattamento lunghi e non conformità con le norme internazionali in materia di protezione terrestre istituite nel Protocollo di Montreal. La tecnologia a microonde per applicazioni di disinfestazione si basa sui principi di selettività di riscaldamento guidato dai meccanismi di perdita dielettrica: quando una miscela di materiali secchi (come legumi e cereali in condizioni post-raccolta) e parassiti viene irradiata, gli insetti sono riscaldati più rapidamente per il contenuto di acqua maggiore rispetto alle granelle, raggiungendo quindi velocemente le temperature letali. Una discussione più approfondita sui meccanismi di azione è riportata ai prossimi paragrafi.

Nonostante le ampie ricerche e le applicazioni validate sul riscaldamento a microonde in trattamenti post raccolta<sup>23,24</sup>, uno studio completo sulle proprietà strutturali e di trasporto del calore in matrici ricche in amido e in proteine, con basso contenuto di umidità, è ancora carente. Uno degli scopi del progetto TECNAGRI è proprio quello di approfondire tali conoscenze.

---

21 Yavad, Anand, Sharma & Gupta, *Microwave technology for disinfestation of cereals and pulses: An overview*, *Journal of Food Science and Technology*, 1-9, 2012

22 Mohapatra, Kar, Giri, *Insect Pest Management in Stored Pulses: an Overview*, *Food and Bioprocess Technology*, 8 (2) 239 – 265, 2014

23 Wang, Tang, Cavaliere, Davis, *Differential heating of insects in dried nuts and fruits associated with radio frequency and microwave treatments*, *Transactions-American Society of Agricultural Engineers*, 46, 1175-1184, 2003

24 Zhao, Qiu, Xiong, Cheng, *A thermal lethal model of rice weevils subjected to microwave irradiation*, *Journal of Stored Products Research*, 43, 430-434, 2007

## PROCESSI DI STABILIZZAZIONE ASSISTITI DA MICROONDE<sup>25,26</sup>

### GENERALITÀ

A differenza dei metodi di sanitizzazione convenzionali che utilizzano il calore trasmesso da un mezzo esterno (in genere aria calda) per la diffusione negli alimenti, nella tecnica di riscaldamento a microonde si sfrutta la capacità delle onde elettromagnetiche di trasferire energia ai materiali irradiati. Le microonde sono in grado di generare calore nei materiali irradiati attraverso l'induzione di attrito intermolecolare causato dall'azione dei campi elettrici sui dipoli, già presenti (come ad esempio le molecole di acqua) o provocati. Il trasferimento di calore quindi non coinvolge fenomeni di trasporto conduttivi e convettivi, che possono subentrare successivamente all'irraggiamento, ma che non costituiscono i principali fenomeni di trasporto del calore.

In funzione delle caratteristiche dei materiali irradiati, il riscaldamento attuato con l'esposizione alle microonde:

- può essere rapido e selettivo consentendo una considerevole riduzione dei tempi di processo con conseguente diminuzione dei danni termici e dei costi energetici;
- può provocare “effetti non termici”, ossia riassetto strutturali non ottenibili con metodi di riscaldamento tradizionali;
- interessa il riscaldamento dei soli materiali di processo non quindi dell'ambiente di processo.

Ciò permette sia la riduzione dell'usura dei materiali delle apparecchiature che la loro dimensione se la velocità di processo è elevata permettendo, quindi, anche la miniaturizzazione d'impianto. Da qui è già immediato rilevare sostanziali vantaggi rispetto alle tecnologie convenzionali; in particolare si può notare un'ottimizzazione nel:

- trasferimento di calore rapido;
- riscaldamento volumetrico e selettivo;
- uniformità del riscaldamento.

---

25 Barba, d'Amore, *Applicazioni delle microonde nel settore agroalimentare, in Il riscaldamento a microonde - principi ed applicazioni*, Pitagora Editrice Bologna, 2008

26 Barba, d'Amore, *Microonde e prodotti agro-alimentari in Tecnologie alimentari*, Gennaio-Febbraio 2009, pp. 30-32

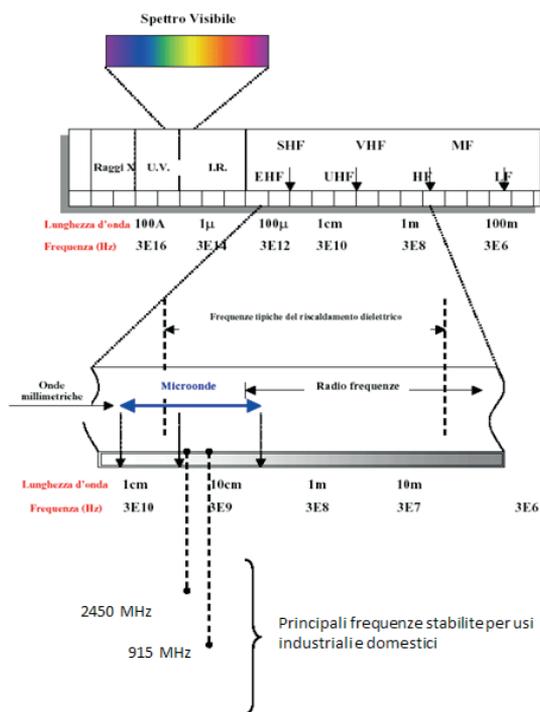
Nel trattamento di cereali e leguminose da granella l'azione termica attuata dalle microonde è spiccata negli infestanti. Questi raggiungono una temperatura maggiore rispetto alle matrici amidacee e proteiche per la migliore interazione con i campi elettromagnetici a causa della loro natura chimico-fisica, con un effetto che si traduce con la morte e inattivazione delle cariche infestanti incidendo in maniera minore sulle matrici. È stato inoltre ampiamente accertato che le microonde non compromettono le capacità germinative delle granelle. Il trattamento a microonde inoltre permette di ridurre il tenore di umidità presente nelle granelle consentendo al contempo una maggiore stabilità nel tempo.

### BASI FISICHE DEL RISCALDAMENTO A MICROONDE

Le microonde sono onde elettromagnetiche con frequenza da 300 MHz a 1 THz, cui corrispondono lunghezze d'onda comprese tra 1 m (300 MHz) e 0.3 mm (1 THz). Le frequenze che vengono normalmente impiegate per usi industriali, scientifici e medici sono comprese tra 400 MHz e 60 GHz (frequenze ISM) secondo quanto stabilito dall'Unione Internazionale Telecomunicazioni. Per differenziarle da quelle

usate per telecomunicazioni o nella spettroscopia, le microonde per il riscaldamento dielettrico sono denominate microonde di potenza.

Le frequenze di più comune uso sono quelle corrispondenti a 0.915 e 2.450 GHz. Recentemente sono stati messi a punti dei generatori di microonde a frequenza variabile da 0.9 a 18 GHz sviluppati per rispondere alle sempre più puntuali esigenze di processo.



*Spettro delle radiazioni elettromagnetiche, con indicazione della regione delle microonde (www.microwaves.it)*

Il riscaldamento prodotto dalle microonde consiste nella generazione di calore in seguito ad attriti intermolecolari generati dall'azione di campi elettrici sulle cariche elettriche elementari. Queste azioni possono avere manifestazioni diverse in relazione al grado di libertà di cui godono le cariche: se esse possono scorrere liberamente (ciò avviene nei materiali conduttivi) allora l'effetto del campo è quello di indurre una corrente nel mezzo materiale; se tali cariche sono invece confinate, saranno sottoposte solo a spostamenti microscopici locali. In genere le cariche confinate fanno parte di strutture dette dipoli elettrici che derivano da deformazioni non permanenti degli equilibri elettrostatici preesistenti nei mezzi non eccitati. Esistono peraltro materiali che presentano strutture dipolari naturali come ad esempio l'acqua.

La presenza (o la formazione) di dipoli nei materiali è alla base del riscaldamento dielettrico perché i processi dissipativi derivano proprio dalla loro resistenza alla rotazione indotta dalla presenza di un campo elettrico. Infatti in presenza di un campo elettrico i dipoli (o più correttamente i corrispondenti momenti di dipolo) tendono ad allinearsi con le linee del campo (sia il campo che i momenti sono grandezze vettoriali) fino a raggiungere una configurazione di parallelismo e di verso concorde. L'azione orientante è fatta a spese del campo la cui intensità, quindi, viene progressivamente estinta.

Il vasto impiego della tecnologia di riscaldamento a microonde è giustificato dagli indiscutibili vantaggi che il riscaldamento dielettrico offre, pur a fronte di talune cautele nel loro uso, sia di natura processistica che di sicurezza.

Le microonde, come già riportato nell'introduzione di questo paragrafo, possiedono caratteristiche certamente favorevoli non riscontrabili nei processi di riscaldamento tradizionali. In primo luogo le modalità di trasporto dell'energia: i flussi termici in gioco non sono generati da forze spingenti quali i gradienti termici ma, come già notato, sono sviluppati da fenomeni di interazione tra materia e campi elettromagnetici. Non sono più coinvolti trasporti convettivi (che riscaldano il mezzo tra sorgente di calore e materiale) e conduttivi (diffusione del calore all'interno del materiale) ma si assiste alla generazione di calore direttamente nel materiale. Le conseguenze più importanti sono il riscaldamento del solo materiale irraggiato e non dei mezzi circostanti (ambiente e supporti), con conseguenti riduzioni delle dimensioni delle camere di processo e riscaldamento più uniforme in relazione alle capacità assorbenti del materiale e alle capacità penetranti delle microonde.

Un secondo punto a favore è l'assorbimento selettivo dell'energia legato alle proprietà dielettriche dei materiali irraggiati. L'assorbimento selettivo dell'energia torna utile soprattutto nei processi in cui si desidera avere un riscaldamento mirato.

Si è già discusso sui fenomeni di trasporto dell'energia: nei processi tradizionali il trasferimento di calore coinvolge meccanismi diffusivi ed impone pertanto lunghi tempi affinché all'interno dei materiali trattati si raggiungano le temperature

desiderate. Al contrario, nei processi a microonde i tempi di risposta dei materiali sono eccezionalmente bassi, ovvero il riscaldamento è veloce. Ciò consente un miglior controllo del processo (la quantità di potenza erogabile può essere regolata elettronicamente in frazioni di secondo e può avvenire sia in maniera impulsiva che in modo continuo) e produttività maggiori. Infine, i processi a microonde possono definirsi anche processi ad alta efficienza giacché in questi sistemi di riscaldamento la conversione di energia elettrica in calore ha un'efficienza talvolta molto superiore al 50%. Dunque il risparmio energetico ottenibile rispetto ad un trattamento termico convenzionale incide notevolmente e positivamente sia sul bilancio economico delle industrie che sull'impatto ambientale.

I limiti maggiori della tecnologia a microonde sono riassumibili in due temi fondamentali: la "trattabilità" dei materiali e la sicurezza. Il primo riguarda le proprietà dielettriche dei materiali, ovvero la loro risposta termica a trattamenti radiativi. Ad esempio, in materiali molto assorbenti con profondità di penetrazione considerevolmente minori rispetto alle dimensioni interessate al trattamento, le microonde attuano un riscaldamento che può essere considerato locale in quanto gran parte dell'energia sarà convertita in calore prima di raggiungere tutto il materiale. Se invece la profondità di penetrazione è molto maggiore delle dimensioni del corpo da trattare, le microonde lo attraverseranno dissipando in esso solo una minima parte di energia. Inoltre essendo il fattore di perdita un parametro che in molti materiali tende ad aumentare con la temperatura (un materiale assorbente diventa sempre più assorbente) può insorgere un rischio da danno termico del materiale. Se non si interviene con un adeguato controllo (rimuovendo il materiale trattato o riducendo la potenza radiativa), si rischia la distruzione del mezzo assorbente per le elevate escursioni termiche. La scarsa conoscenza dei rischi biologici (interazione tra energia elettromagnetica e strutture cellulari) e la mancanza di personale esperto e qualificato nonostante le grandi potenzialità, sono i punti deboli per un uso sicuro di questa tecnologia.

## PROPRIETÀ CHIMICO-FISICHE RILEVANTI DEI PROCESSI DI STABILIZZAZIONE A MICROONDE

### Proprietà dielettriche<sup>27</sup>

In termini macroscopici la capacità di un materiale di interagire con un campo elettromagnetico, ovvero di subire riscaldamento dielettrico, è espressa dalla grandezza fisica denominata permittività (grandezza relativa - adimensionale - perché generalmente è riferita al valore di permittività del vuoto). Tale grandezza, rappre-

---

<sup>27</sup> Barba, d'Amore, *Relevance of dielectric properties in microwave assisted processes, in Microwave Materials Characterization, InTech, ISBN 979-953-307-893-8 91-118, 2012*

sentata in forma di numero complesso, è una proprietà fisica di tutti i materiali ed è funzione, oltre che della natura degli stessi materiali, della temperatura e delle caratteristiche dell'onda a cui è associato il campo elettromagnetico (frequenza, ampiezza etc...):

$$\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon''$$

dove  $\varepsilon'$  è la parte reale o costante dielettrica, esprime la capacità del materiale di essere polarizzato da un campo elettrico esterno, è una misura della quantità di energia che può essere immagazzinata da un materiale;  $\varepsilon''$  è il fattore di perdita o parte immaginaria, misura le capacità dissipative, cioè l'abilità di trasformare l'energia elettromagnetica immagazzinata in calore.

La parte immaginaria della costante dielettrica, denominata fattore di perdita, proprio perché strettamente correlata alle proprietà dissipative del mezzo, è utilizzata per la classificazione dei materiali in mezzi assorbenti, trasparenti e riflettenti. L'acqua è un mezzo assorbente, così come molti alimenti, soprattutto se ricchi di acqua, mentre materiali come porcellana, vetro e quarzo sono praticamente trasparenti.

La tangente di perdita è un'altra grandezza comunemente usata per descrivere le proprietà dissipative dei materiali. Essa è definita come il rapporto tra il fattore di perdita e la costante dielettrica:

$$\tan \delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}$$

La tangente di perdita definisce, quindi, la frazione di energia entrante che viene dissipata come calore dal materiale.

Un altro parametro rilevante nella tecnologia del riscaldamento a microonde, fortemente dipendente dalle proprietà dielettriche, è la profondità di penetrazione. Quest'ultima, indice della distribuzione spaziale dei fenomeni dissipativi nei materiali irradiati, è definita come la distanza dalla superficie di incidenza dell'onda elettromagnetica sul mezzo in corrispondenza della quale l'intensità del campo elettrico iniziale,  $E_0$ , si riduce di un fattore  $1/e$  ( $1/2,718 \approx 0,37$ ). L'equazione che consente di calcolare in modo più semplice la profondità di penetrazione,  $Dp$ , delle microonde in mezzi materiali poco dissipativi (come le granelle) per i quali  $\varepsilon''/\varepsilon' < 1$ :

$$Dp = \frac{c\sqrt{\varepsilon'}}{2\pi \cdot f \cdot \varepsilon''}$$

dove  $f$  è la frequenza [Hz = 1/s];  $c$  è la velocità della luce [m/s].

I materiali altamente assorbenti e con elevate dimensioni possono non subire un riscaldamento volumetrico per effetto dell'attenuazione del campo elettrico negli

strati più superficiali; materiali debolmente assorbenti, invece, sono caratterizzati da un valore elevato della profondità di penetrazione e il loro riscaldamento alle microonde può interessare l'intero volume. Per ottenere un riscaldamento di tipo volumetrico, anche in presenza di materiali molto dissipativi, i materiali irradiati devono presentare dimensioni dello stesso ordine di grandezza della profondità di penetrazione. La quantità di calore volumetrica che può essere dissipata ( $\dot{Q}_{dissipata}$ ) in un materiale irradiato a microonde è data dall'equazione:

$$\dot{Q}_{dissipata} = \frac{I}{2} \omega \varepsilon_0 \varepsilon'' |E|^2$$

dove  $[W/m^3]$  è la densità di potenza (portata termica per unità di volume.);  $E$   $[V/m]$  è l'intensità del campo elettrico;  $\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} F/m$  è la permittività del vuoto.

### Altre proprietà termofisiche

Ai fini di ottimizzare i protocolli di trattamento in termini di costi operativi nonché di proteggere gli alimenti da possibili degradazioni (salvaguardia del profilo nutrizionale e sensoriale) sono basilari le conoscenze delle proprietà termofisiche. Proprietà quali conducibilità termica, calore specifico, capacità termica forniscono importanti informazioni sul comportamento al calore degli alimenti, e quindi indirizzano verso i metodi più idonei di processamento nonché delle condizioni operative da applicare.

Il *calore specifico* ( $C_p$ ) è la quantità di calore (energia) che bisogna somministrare all'unità di massa di un materiale per aumentare di 1 K la sua temperatura. Il prodotto del calore specifico per la massa determina la capacità termica del materiale (il prodotto del calore specifico per la densità rappresenta, invece, la sua capacità termica su base volumetrica). Nel Sistema Internazionale si misura in  $J \text{ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ .

La *conducibilità termica* ( $K_p$ ) di un materiale è la misura dell'abilità di trasportare il calore per meccanismo conduttivo. Nei cibi, la conducibilità termica dipende principalmente dalla composizione, ma anche da ogni fattore che influenza la resistenza al trasporto dell'energia (spazi vuoti, isotropia, temperatura). Nel Sistema Internazionale si misura in  $W \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ .

La *diffusività termica* ( $\alpha$ ) è la grandezza che esprime la capacità di un materiale di trasferire ed immagazzinare il calore. E' definita dal rapporto tra conducibilità termica e la capacità termica di un mezzo materiale ed esprime quanto velocemente il calore si propaga o diffonde attraverso un materiale. Nel Sistema Internazionale si misura in  $m^2 \text{ s}^{-1}$ .

Nei trattamenti assistiti da microonde la conoscenza delle proprietà dielettriche e delle altre proprietà termofisiche dei materiali da trattare sono fondamentali per l'impostazione delle condizioni operative di processo. Inoltre una loro eventuale variazione può essere anche indice di alterazione dei materiali esposti al calore.

La conoscenza delle proprietà dielettriche e delle altre proprietà termofisiche ha un ruolo fondamentale anche negli studi modellistici (ovvero negli studi che prevedono la descrizione dei fenomeni chimico-fisici coinvolti attraverso equazioni matematiche). In particolare, nei processi assistiti da microonde la descrizione dei fenomeni attraverso i quali la materia interagisce con le microonde richiede la soluzione delle equazioni del campo elettromagnetico, ossia equazioni di Maxwell, e la soluzione delle equazioni di variazione di quantità di moto, di energia e di materia. Queste due classi di equazioni risultano legate attraverso le costanti materiali: permeabilità elettrica e permeabilità magnetica con viscosità, densità, calore specifico, conducibilità e diffusività termiche.

## APPARECCHIATURE PER I PROCESSI DI STABILIZZAZIONE ASSISTITI DA MICROONDE

### IMPIANTISTICA<sup>28</sup>

Una generica unità di riscaldamento a microonde è costituita essenzialmente dai seguenti componenti: generatore di microonde, linea di trasmissione e applicatore.

I più comuni generatori di microonde sono i *magnetron* e i tubi ad onda viaggianti (*traveling wave tube*, TWT). Essi sono fondamentalmente delle strutture dove, in condizioni di vuoto, delle cariche elettriche (elettroni) sono mantenute in moto per permettere la generazione di campi elettromagnetici.

I *magnetron* sono i generatori più diffusi. Sono utilizzati nella maggior parte delle apparecchiature di riscaldamento a microonde: dai forni domestici alle fornaci industriali. La loro caratteristica fondamentale è quella di fornire, in cavità risonanti, campi caratterizzati da una lunghezza d'onda fissata. Costruttivamente un *magnetron* è composto da un cilindro cavo, l'anodo, e da un filamento coassiale, il catodo. Un certo numero di alette radiali, connesse all'anodo, creano nello spazio tra i due elettrodi alcune cavità rientranti. L'anodo e il catodo sono mantenuti ad una elevata differenza di potenziale capace di indurre un intenso campo elettrico. Il catodo, raggiunta una certa temperatura, diventa emettitore di elettroni i quali, per effetto del campo elettrico, sono spinti radialmente con moto accelerato verso l'anodo. La presenza di magneti esterni, generatori di un campo magnetico ortogonale a quello elettrico, imprime una traiettoria elicoidale alla nube elettronica emessa. Gli elettroni in tale moto elicoidale costituiscono sorgenti di onde elettromagnetiche (cariche elettriche in movimento) e possono eccitare i modi risonanti consentiti alle cavità rientranti. Una antenna opportunamente disposta in una cavità preleva il modo risonante e lo invia in una guida d'onda localizzata convenientemente.

Linee di trasmissione come cavi coassiali o guide d'onda permettono il trasporto del campo dell'applicatore. La potenza massima erogabile da un magnetron è funzione della tensione di alimentazione e del campo magnetico applicato.

Le linee di trasmissione permettono il trasferimento del campo elettromagnetico dai generatori agli applicatori. Le guide d'onda sono le strutture più adoperate per la propagazione dei campi; possono presentare sezione rettangolare, circolare o ellittica. La capacità di un materiale nell'interagire con un campo elettromagnetico dipende dalle sue proprietà dielettriche e dalla evoluzione di quest'ultime durante il riscaldamento radiativo. Per controllare la potenza assorbita dal materiale sotto trattamento si può ricorrere a strumentazioni come gli accoppiatori direzionali. Esse, connesse a misuratori di potenza veri e propri e alle guide d'onda (con un particolare criterio di accoppiamento), consentono di rilevare la potenza assorbita dal carico tramite un controllo tra potenza in arrivo al carico e potenza riflessa.

<sup>28</sup> Barba, *Un trattamento innovativo di suoli contaminati da idrocarburi*, CUES Editore 2002 ISBN ISBN 88-87030-20-0

Per proteggere il *magnetron* da intensità elevate di potenze riflesse (che possono aver luogo quando si trattano materiali debolmente assorbenti) sono adoperati particolari dispositivi detti circolatori. Questi elementi, che vanno inseriti lungo le linee di trasmissione, sono dei raccordi a più vie cui sono connessi il *magnetron*, la guida che va all'applicatore e un carico ausiliario dissipativo. In genere quest'ultimo è costituito da acqua.

L'applicatore è la parte fondamentale della unità di riscaldamento a microonde. Con esso si realizza il trasferimento dell'energia trasportata dal campo elettromagnetico ai materiali. Dal suo corretto dimensionamento dipende buona parte dell'efficacia del riscaldamento radiativo. Dal punto di vista costruttivo anche gli applicatori, come le guide, devono essere realizzati con materiali conduttivi. Ciò, oltre a garantire i fenomeni di riflessione, particolarmente significativi per le cavità risonanti, contiene le perdite di energia dovute ai flussi di corrente superficiali grazie alla ridotta penetrazione del campo nel metallo (*skin depth*, da cui l'effetto pelle). In più devono essere soddisfatte anche altre condizioni, relative sempre ai materiali, visto che l'applicatore spesso è un vero e proprio reattore chimico. Infatti occorre che essi siano resistenti a fenomeni di corrosione e alle alte temperature, non presentino coefficienti di dilatazione elevati, permettano il mantenimento di standard di igiene consoni ai carichi con cui verranno a contatto. Inoltre la scelta dei materiali deve essere fatta in base a precise proprietà meccaniche poiché la realizzazione di strutture *ad hoc* richiede lavorazioni particolari che non tutti i materiali sopportano.

Gli applicatori possono essere delle cavità chiuse (applicatori chiusi) di geometria varia o presentarsi sotto forma di griglie irraggianti (applicatori aperti).

I primi costituiscono la tipologia di applicatore più diffusa; sono largamente impiegati sia per processi di riscaldamento continuo (realizzati con strutture a tunnel o a tamburo, con nastri trasportatori o elicoidi per la movimentazione del carico) che discontinuo (condotti in camere riverberanti). La loro costruzione deve rispettare i criteri sulla scelta dei materiali, sopra illustrati, e quelli relativi al corretto dimensionamento. Gli applicatori chiusi sono apparecchiature che presentano grande versatilità sotto il profilo dell'impiego come camere di processo per trattamenti termici sottopressione (o in depressione) o da condurre in atmosfere inerti o controllate. Gli applicatori chiusi a loro volta possono essere classificati in cavità multimodali e cavità monomodali. Il più comune esempio di cavità riverberante a microonde multimodale è il forno a microonde domestico.

Gli applicatori aperti sono poco diffusi essendo essenzialmente legati ad una tecnologia non ancora del tutto consolidata. Un esempio di applicatore a microonde aperto costituito da una schiera bidimensionale di antenne a mezz'onda è stato usato per studi sul disinquinamento di suoli<sup>29</sup>.

---

29 Acieno, Barba, d'Amore, Pinto, Fiumara, *Microwaves in Soil Remediation from VOCs. 2. Buildup of a Dedicated Device*, *AIChE Journal*, No. 3 Vol. 50, 2004 pp.722-732

## PROTOTIPO A MICROONDE REALIZZATO PER IL PROGETTO TECNAGRI

Per lo sviluppo delle attività pratico-dimostrative del progetto TECNAGRI per la stabilizzazione assistita da microonde di cereali e leguminose da granella, la tipologia più idonea di apparecchiatura prototipale da realizzare è stata identificata in una camera riverberante funzionante in modo continuo. La progettazione è partita dall'idea di realizzare un applicatore a microonde operante in modo continuo, compatto nelle dimensioni e a ridotta potenzialità (200-400 q/h), caratteristiche perfettamente corrispondenti alle finalità pratico-dimostrative del progetto TECNAGRI. In particolare è stata realizzata una struttura prototipale consistente in una camera riverberante a sezione pentagonale in cui il carico da trattare (granelle) è movimentato, durante l'irraggiamento, a mezzo di un elicoide posto in rotazione. La camera riverberante è equipaggiata con due *magnetron* (connessi ad un circuito refrigerante ad acqua) dalla potenza nominale di 6 kW ciascuno. Attraverso opportune aperture nelle pareti (pannelli di penetrazione elettromagnetica), le microonde generate dai *magnetron* sono trasferite alla camera, dove degli agitatori dei modali (*stirrer*), che ruotando continuamente, consentono una omogeneizzazione del campo elettromagnetico e dunque l'ottenimento di un riscaldamento più uniforme del carico. Quest'ultimo è introdotto nella camera riverberante attraverso una tramoggia e dopo un dato tempo di residenza (funzione della velocità di avanzamento dell'elicoide a sua volta legata alla temperatura a cui portare il carico), fuoriesce dall'estremità opposta dove un sistema di controllo a infrarossi misura e controlla la temperatura in uscita (dato di *set point* per assicurare che tutta la granella abbia raggiunto il riscaldamento desiderato). L'intero apparato è dotato di tutti i necessari dispositivi per il suo esercizio in sicurezza

Nelle tabelle riportate in seguito indicati i principali dati costruttivi e le caratteristiche elettriche del prototipo nonché l'elenco della componentistica utilizzata per la sua realizzazione (i componenti sono raggruppati per sezioni funzionali)<sup>30</sup>.

Il prototipo è stato realizzato dall'azienda EMitech srl<sup>31</sup>, azienda dalla lunga e solida conoscenza del background scientifico delle problematiche relative alle applicazioni di potenza delle microonde con particolare riferimento al trattamento a microonde di derrate alimentari, soprattutto in forma di granelle

<sup>30</sup> Manuale d'uso di manutenzione e di sicurezza prototipo a microonde, EMitech srl

<sup>31</sup> Nella sezione INDIRIZZI sono riportati i contatti dell'azienda.

<b>Caratteristiche elettriche del sistema</b>	
tensione di alimentazione	380Vac - 3P+N+T – 50 Hz
assorbimento	32 A
potenza RF max	12 kW
tensione di alimentazione circuiti ausiliari	220Vac – 50 Hz
<b>Caratteristiche di ingombro</b>	
struttura esterna schermata	L 8000x l 2500x h 2500
camera di processo	L 6000x l 2500x h 2500
armadio Rack	L 600x l 800x h 2700
peso (completamente equipaggiato)	~800 Kg
<b>Componenti del prototipo realizzato per sezioni funzionali</b>	
<b>struttura a telaio</b>	
telaio di supporto in acciaio inox con ruote	lungh. m 2; pz 3
lamiere pressopiegate e forate in acciaio inox (schermo em)	pz 3
lamiere pressopiegate (piastre chiusura schermo e aggancio sistema carico)	pz 2
<i>continua</i>	
<i>continua</i>	
<b>sistema movimentazione del carico</b>	
tubo ppe	pz 1
spirale in acciaio inox	pz 1
tramoggia di carico con filtro <i>honey comb</i>	pz 1
scarico con filtro <i>honey comb</i>	pz 1
modulo di carico flangiato	pz 1
modulo di scarico flangiato	pz 1
motoriduttore più <i>inverter</i> per coclea	pz 1
serranda a ghigliottina	pz 1
valvola per pulizia tubo ppe	pz 1
<b>sezione di irraggiamento</b>	
generatori microonde	6kW Pz 2
alimentatori per generatori	6KW Pz 2
giuda d'onda	pz 2
gas barrier	pz 2
cablaggi at	pz qb

cablaggi bt	pz qb
rack alimentatori	pz 1
guarnizioni rfi	pz qb
stirrer	pz 2
motore stirrer	pz 2
asta cut off per stirrer	pz 2
<b><i>dispositivi protezione per circuiti elettrici</i></b>	
interruttori magnetotermici di protezione	pz 4
cavi elettrici	qb
sicurezze elettriche	qb
collettore di messa a terra	pz 1
cablaggi segnalazioni allarmi	qb
<b><i>sistema di raffreddamento</i></b>	
serbatoio acqua di raffreddamento	pz 1
pompa di circolazione	pz 1
filtro acqua	pz 1
elettroventole di raffreddamento	pz 2
tubazioni di raccordo e manicotti	qb
<b><i>sistema di controllo macchina</i></b>	
PLC già programmato con relativo software di comando macchina	pz 1
<i>touch screen</i> su relativa consolle	pz 1
sensore IR temperatura finale	pz 1



*Fotografie del prototipo a microonde in allestimento presso i laboratori dell'azienda EMitech.*