

# **Il linguaggio delle forme cristalline: il metodo dell'evaporazione delle gocce applicato all'analisi qualitativa dei semi di frumento**

**Maria Olga Kokornaczyk, Lucietta Betti**

*Dipartimento di Scienze Agrarie, Facoltà di Agraria, Università di Bologna, viale Fanin 42, 40127 Bologna, Italia*

e-mail: [maria.kokornaczyk@unibo.it](mailto:maria.kokornaczyk@unibo.it)

## **Qualità degli alimenti**

Negli ultimi decenni l'alimentazione umana è cambiata in maniera sostanziale: tale cambiamento riguarda la maggior parte dei prodotti alimentari, ma può avere pesanti ripercussioni sulla salute soprattutto quando riguarda gli alimenti di base, che vengono consumati in quantità elevate. Fra essi il frumento, pilastro dell'alimentazione mediterranea, è uno degli alimenti essenziali per la salute umana. Negli anni passati si è assistito ad un notevole impoverimento della qualità alimentare di questo cereale e dei prodotti derivati: le tecniche di agricoltura intensiva, lo sviluppo di varietà moderne ad elevato contenuto di glutine, la velocizzazione del processo di panificazione, ect... hanno probabilmente favorito l'insorgenza di intolleranze alimentari al frumento, sempre più frequenti nella popolazione. Per questo motivo ricerche sulla qualità di questo cereale sono assolutamente necessarie e il nostro gruppo di ricerca ha deciso di focalizzare la propria attività su questo argomento.

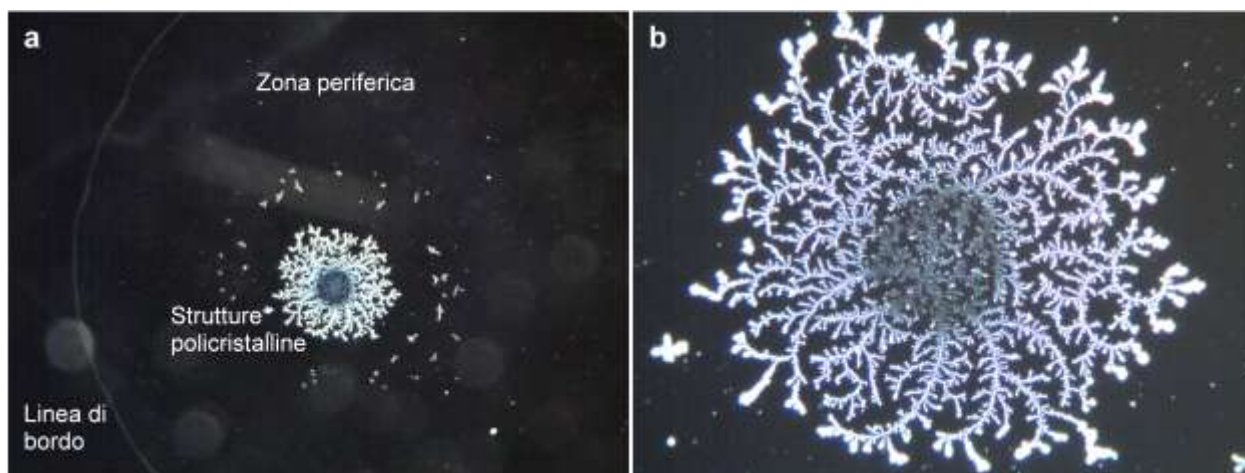
## **Approccio olistico nell'analisi qualitativa**

Per la scienza accademica gli alimenti sono costituiti soltanto dalle loro componenti e in quest'ottica l'analisi chimica può essere sufficiente per caratterizzarli. I risultati di tale analisi sono sicuramente importanti nella valutazione di un alimento, ma non sufficienti. Secondo una visione olistica, infatti, gli alimenti sono "organismi vivi e complessi": per descrivere la loro qualità non basta quindi il contenuto di proteine, carboidrati, grassi, etc..., ma bisogna prendere in considerazione anche altri parametri fra cui le proporzioni e l'equilibrio fra i componenti dell'alimento, la sua struttura, e soprattutto la sua vitalità.

## **Il metodo dell'evaporazione delle gocce**

I metodi cristallografici forniscono una valutazione qualitativa globale del campione analizzato mediante la creazione di immagini più o meno complesse. Tra tali metodi, noi proponiamo

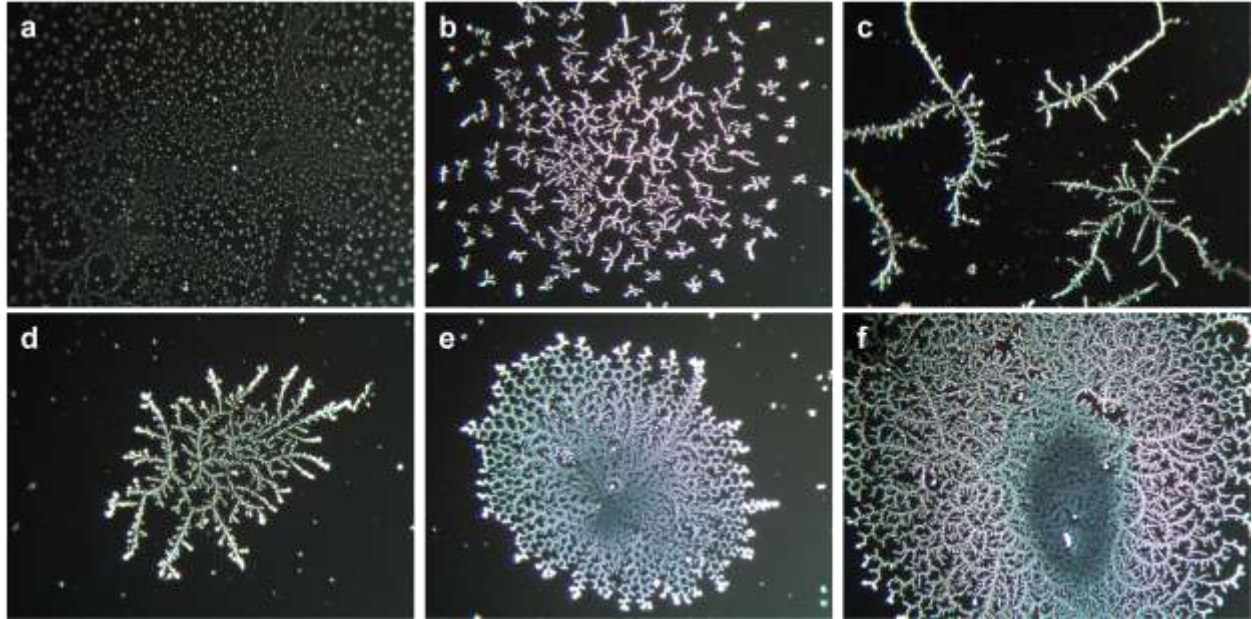
quello dell'evaporazione delle gocce, messo recentemente a punto dal nostro gruppo di ricerca per l'analisi qualitativa di semi di frumento (vedi bibliografia). Questo metodo si basa sul fenomeno dell'auto-organizzazione della materia, proveniente dal campione di semi da analizzare, durante l'evaporazione del solvente acquoso in cui i semi erano stati posti ad imbibire per un tempo prestabilito. In una goccia d'acqua in evaporazione, contenente una minima quantità di materia organica, agiscono diverse forze fisiche come la tensione superficiale e i microflussi che spostano le particelle di materia all'interno della goccia. Si creano così, al bordo della goccia o al suo interno, degli accumuli di particelle che con il procedere dell'evaporazione si legano fra di loro, organizzandosi in forme complesse (strutture cristalline) con diverso grado di ordine.



**Figura 1: Esempio di un'immagine ottenuta dall'evaporazione di una goccia d'acqua d'imbibizione di semi di frumento. (a) Immagine dell'intera goccia evaporata, ingrandimento 25x; (b) strutture policristalline centrali, ingrandimento 100x.**

### **La nostra sperimentazione**

Mediante il metodo sopra descritto sono state analizzate diverse varietà di frumento tenero, di antica e nuova costituzione. I cristalli ottenuti dopo l'evaporazione sono stati esaminati e fotografati con un microscopio a campo oscuro: le immagini sono state poi valutate sia mediante analisi visuale (soggettiva, ma importante per indirizzare le successive analisi), sia con un software dedicato in grado di oggettivare il risultato. Con quest'ultimo approccio è stato possibile parametrizzare le forme cristalline definendone la complessità (calcolo delle dimensioni frattali) e la simmetria (calcolo dell'indice di asimmetria fluttuante). Inoltre, le varietà di frumento sono state analizzate per la loro forza germinativa, indice dello stato di salute del seme e del suo vigore: in tal modo si sono potuti confrontare i risultati dell'analisi cristallografica con quelli dei test germinativi tradizionalmente applicati per la valutazione della qualità dei semi.



**Figura 2: Esempi di strutture policristalline di diverso grado di complessità: (a) singoli punti, (b, c) dendriti, (d) forme semplici, (e, f) forme fratti complesse (ingrandimento 100x).**

Le forme ottenute dalle analisi svolte sono costituite da una linea di bordo, da una zona periferica priva di strutture e da strutture policristalline di diverso grado di complessità situate al centro dell'immagine (Fig. 1). Queste ultime sono l'unico elemento strutturale che varia in maniera sostanziale a seconda del campione analizzato: può essere infatti costituito da singoli punti (Fig. 2a), da dendriti e semplici forme cristalline (Fig. 2b-d), come anche da forme frattali di sorprendente bellezza e complessità (Fig. 2e, d). La valutazione delle immagini ha mostrato che il grado di organizzazione dei cristalli dipende dalla vitalità del campione: le varietà che nei test biologici mostravano il maggiore vigore germinativo (e quindi la maggior vitalità) erano proprio quelle che formavano i cristalli più complessi e simmetrici; una ridotta vitalità dei semi corrispondeva invece ad una scarsa cristallizzazione con formazione di forme semplici e tendenzialmente asimmetriche. In Tabella 1 sono riportati i risultati dell'analisi condotta su quattro varietà di frumento: si può notare che le strutture policristalline ottenute dalle varietà Inallettabile e Gentil Rosso presentavano alti valori di dimensione frattale (indicanti un maggior grado di complessità) e bassi valori di asimmetria fluttuante (indicanti una maggiore simmetria bilaterale). Tali varietà erano anche quelle che nei test biologici mostravano una maggiore forza germinativa. Al contrario le strutture policristalline delle varietà Nobel e Benco, caratterizzate da un basso vigore germinativo, presentavano bassi valori di dimensione frattale ed alti valori di asimmetria fluttuante: erano quindi poco complesse e meno simmetriche.

**Tabella 1: Risultati della valutazione computerizzata delle strutture policristalline ottenute dall'analisi delle quattro varietà di frumento. Lettere diverse indicano una significatività a  $p < 0.05$ .**

Varietà	Dimensione frattale	Asimmetria fluttuante	Germinazione (%)
Gentil Rosso	1.2 (a)	0.14 (b)	96.4 (a)
Inalettabile	1.3 (a)	0.15 (b)	95.8 (a)
Benco	0.9 (b)	0.26 (a)	88.5 (b)
Nobel	1.0 (b)	0.27 (a)	98.1 (b)

### **Il linguaggio delle forme cristalline**

Tutti gli organismi viventi che ci circondano sembrano esprimere il loro stato di salute e la loro vitalità con un aumento di complessità e simmetria della loro struttura, mentre un impoverimento della forma ed un aumento dell'asimmetria indicano generalmente uno stato di alterazione. Ad esempio, l'esattezza della simmetria bilaterale delle foglie è un indice dello stato di salute dell'albero [3], e la complessità del ritmo cardiaco può dare importanti informazioni sullo stato del cuore [4]. Similmente un paesaggio ricco di forme, cioè complesso (come ad esempio un bosco), può dare rifugio a diversissime forme di vita e può quindi essere considerato un insieme vitale; al contrario un paesaggio monotono, e quindi poco complesso (per esempio un deserto), ospita un minor numero di forme di vita. Dalla nostra analisi risulta che questo 'linguaggio' è valido anche per le immagini cristallografiche e che quindi sembra essere appropriato per la loro valutazione. Le strutture policristalline e gli organismi viventi hanno infatti una caratteristica in comune: entrambi sono considerati come forme dissipative, cioè auto-organizzate [5]. I meccanismi che governano l'auto-organizzazione delle particelle in forme ordinate non sono ancora ben conosciuti, però suscitano un sempre maggior interesse scientifico, soprattutto perché risultano estremamente utili nel settore delle nano-strutture. La nostra ricerca ha mostrato per la prima volta che anche nell'analisi qualitativa dei prodotti agro-alimentari il fenomeno dell'auto-organizzazione, sul quale si basa il nostro metodo, può risultare utile e rappresentare un promettente e semplice strumento per la valutazione qualitativa di diversi prodotti.

**Ringraziamenti:** Gli autori ringraziano la *Demeter Italia* e la Dr. ssa Edda Sanesi per il finanziamento della presente ricerca.

## **Bibliografia**

1. Kokornaczyk MO, Dinelli G, Marotti I, Benedettelli S, Nani D, Betti L (2011) **Self-assembled crystallization patterns from evaporating droplets of common wheat grain leakages.** *TheScientificWorldJOURNAL* 11, 1712-1725.
2. Kokornaczyk MO, Dinelli G, Betti L (2013) **Approximate bilateral symmetry in evaporation-induced polycrystalline structures from droplets of wheat grain leakages and fluctuating asymmetry as quality indicator.** *Naturwissenschaften* 100 (1), 111-115.
3. Wilsey BJ, Haukioja E, Koricheva J, Sulkinoja M (1998) **Leaf fluctuating asymmetry increases with hybridization and elevation in three-line birches.** *Ecology* 79(6), 2092–2099.
4. Saeed M (2005) **Fractals analysis of cardiac arrhythmias.** *TheScientificWorldJournal* 5, 691–701.
5. Prigogine I (1977) **Time, structure and fluctuations.** *Chemistry*, 263-285.