

# L'IMPORTANZA DEI FENOMENI DI TRASPORTO NEL TRATTAMENTO DEI BIO-SUBSTRATI

**Gianpaolo Ruocco**

*Professore associato di Fisica tecnica,  
Università degli Studi della Basilicata*

***I temi più “caldi” negli ultimi anni, per la ricerca e il trasferimento tecnologico nel campo dei processi e dei materiali, sono sempre stati quelli legati alla micro-scala o addirittura alla nano-scala. Ma anche nell’industria alimentare, farmaceutica, biotecnologica sono frequenti le problematiche in cui l’approccio analitico e modellativo risulta di fondamentale importanza.***

**S**i considerino i numerosi trattamenti su bio-substrati (anche quelli di cui siamo generalmente inconsapevoli), destinati a caratterizzarne le caratteristiche chimiche, fisiche, biologiche. Questi trattamenti tendono ad alterare inevitabilmente la matrice stessa del bio-substrato, provocando significativi mutamenti, come ad esempio la degradazione di importanti principi funzionali e la formazione di nuovi composti dannosi per la salute dell’uomo (quindi diminuendo i fattori di qualità e sicurezza del prodotto).

I modelli dei processi che vengono studiati mediante tecniche proprie della CFD possono consentire, anche in questi casi, un’intima conoscenza dell’effetto dei vari fenomeni di trasporto (di quantità di moto, calore e massa) e del loro legame con la consistenza/evoluzione di ogni bio-substrato studiato.

È ben noto ai lettori di questa Rivista che, mediante l’integrazione delle equazioni differenziali che governano i fenomeni di trasporto di interesse, è possibile studiare nel dettaglio le prestazioni di un processo prototipale (sperimentazione in-silico) senza dover sostenere i costi di realizzazione del modello fisico/chimico/biologico e delle relative prove di laboratorio (sperimentazione in-vivo). A seguito di

un’opportuna serie di esperimenti in-vivo di valore validante per la modellazione, questa diventa uno strumento sempre più irrinunciabile, anche in ambiti tecnici lontani dall’ingegneria, come quelli legati alla biotecnologia.

Si pensi ad esempio alla possibilità di migliorare, ottimizzare un bio-substrato a noi molto familiare: le patatine fritte. Questo cibo ricco di amido, largamente diffuso e consumato a tutte le età e latitudini, a seguito del processo di cottura conterrà una particolare molecola, l’acrilammide, che è classificata dallo IARC (International Agency for Research on Cancer) come “un probabile elemento cancerogeno per l’uomo”, la cui azione neurotossica dipende fortemente dalle quantità assunte (un apporto medio giornaliero di acrilammide di appena 100 µg potrebbe rappresentare una dose non trascurabile per il rischio di cancro).

Questa molecola si forma durante la cottura di prodotti ricchi in carboidrati e relativamente poveri in proteine; la sua formazione (seguendo la cd. reazione di Maillard) comincia dopo i 120 °C circa ed è massima in substrati con un determinato rapporto tra particolari amminoacidi e zuccheri (come il sistema asparagina/glucosio nella proporzione 1:3), come le patate, termizzate in olio a 170 °C per 30 min.

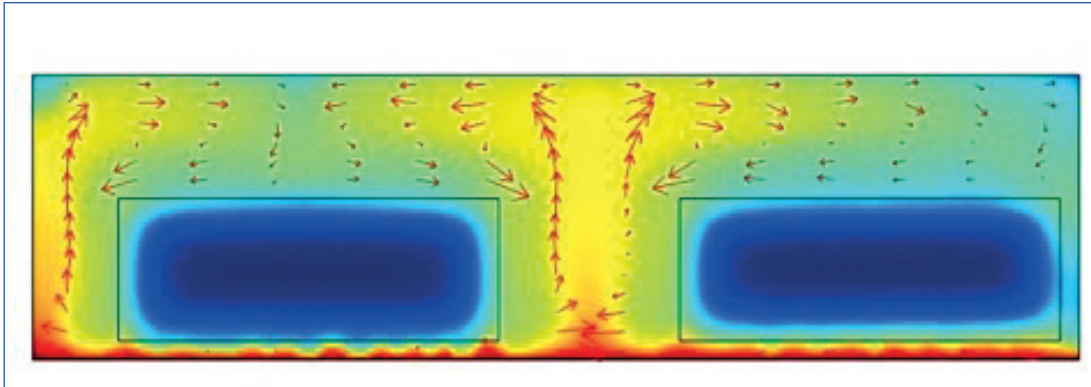


Fig. 1 - Distribuzione della velocità dell'olio di frittura e della temperatura nell'olio e nel substrato

Per la messa a punto del modello è necessario individuare i fenomeni di trasporto che governano il processo. La frittura in olio (*deep frying*) è un processo che prevede un simultaneo trasferimento di calore e trasformazione biochimica dell'amido in acrilammide; entrambi i fenomeni di trasporto, connessi col moto convettivo dell'olio, sono pertanto responsabili dei valori di temperatura superficiale del prodotto prossimi a quelli dell'olio circostante, e dell'incremento termico interno che invece sale più lentamente a causa del raffreddamento evaporativo causato dall'evaporazione dell'acqua liquida, contenuta nel substrato fresco. È questo, il trasporto del vapore, un ennesimo meccanismo di trasporto aggiuntivo, strettamente connesso con i precedenti: il vapore diffuso attraverso il substrato ed affiora alla sua superficie esterna, per poi bollire nell'olio (a meno che l'ispessimento e l'irrigidimento della crosta del substrato non lo impedisca). Il fenomeno è reso poi più complicato da una *counter-diffusion* dell'olio che riempie, permea i vuoti creati nella crosta dall'espansione dell'acqua durante la sua evaporazione.

Questi fenomeni sono tanto più intensi quanto più alta è la *driving force* del processo (la temperatura di frittura) e più piccolo è lo spessore del substrato. La doratura del prodotto che si ottiene alla fine del processo di frittura è determinata dalla suddetta reazione chimica, che sprigiona inoltre gli aromi che vengono riconosciuti con piacere dal consumatore, ma che a sua insaputa possono (come suaccennato) costituire un pericolo per la sua salute.

È chiaro allora il ruolo della modellazione e della CFD nello studio di questo processo: l'ispezione (altrimenti proibitiva) degli intimi legami tra i vari fenomeni di trasporto, che portano alla definizione di un'istanza potenzialmente

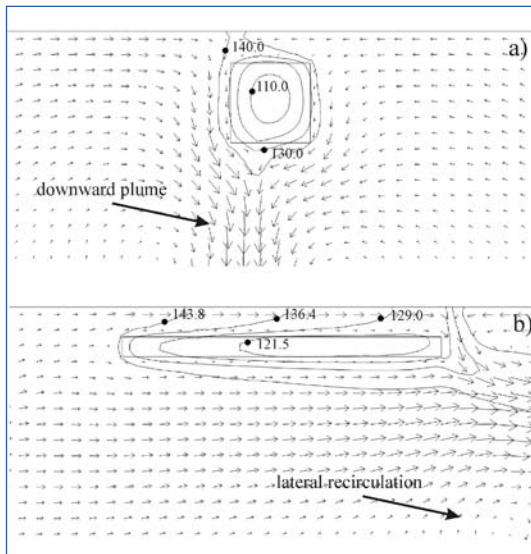


pericolosa per la salute dell'uomo. Si veda ad esempio in Fig. 1 il dominio di calcolo, relativo ad un contenitore di frittura con due campioni di substrato, infinitamente esteso nella direzione normale alla Figura. Sono riportati il campo di velocità nell'olio, e quello della temperatura nell'olio e nel substrato, per una configurazione operativa d'esempio: mantenendo la temperatura del contenitore a 170 °C per 6 min.

Si noti caratteristica configurazione provocata dalla convezione naturale: la variazione di temperatura comporta la conseguente variazione di densità dell'olio che riscaldato tende a risalire lungo le pareti verticali del mezzo riscaldato, successivamente convergendo al centro del pelo libero del liquido e procedendo verso il fondo allargandosi, poi raggiungendo ancora le pareti e risalendo di nuovo.

Si comprende allora come, anche in questo semplice processo, il campo di temperatura sia strettamente legato al quello di moto. Si veda ad esempio in Fig. 2 il calcolo relativo al processo di cottura con substrati aventi diverse configurazioni geometriche, ma con lo stesso volume. Il substrato appare sospeso nel fluido di lavoro, ad una certa profondità rispetto al pelo libero. A seconda della disposizione e della superficie esposta, si verificano dei pattern di moto (*downward plume* e *lateral recirculation*) che favoriscono una differente trasmissione

Fig. 2 - Diversi campi di moto e relativi *pattern* per diverse forme di substrato in cottura nell'olio.



ne del calore convettiva; questo meccanismo, in uno alla conduzione all'interno del substrato, provoca diverse temperature sia all'interno che sulla superficie di esso: la configurazione "piatta" in Fig. 2b appare più calda sia all'interno che in superficie, rispetto al "cubo" in Fig. 2a.

Tornando al processo in Fig. 1, si vede con la sovrapposizione dei campi di moto vettoriale e di temperatura come il primo sia determinato dal secondo: le aree più calde generano un moto di galleggiamento più vigoroso. Una *upward plume* si evidenzia nell'intercapedine tra i substrati; la presenza dei prodotti immersi altera i normali ricircoli formandone uno maggiore in corrispondenza della parete esterna sinistra, a causa del maggiore spazio disponibile.

Un altro effetto che il calcolo evidenzia è il raffreddamento dell'olio, strettamente connesso alla presenza del bio-substrato immerso in esso: il raffreddamento evaporativo dovuto all'acqua interna ha un notevole effetto, condizionando anch'esso il campo di moto e caratterizzandone la distribuzione.

Cambiando la durata del processo, per diverse temperature di cottura, quindi per ogni combinazione tempo/temperatura, il campo di moto assume la medesima distribuzione, ma si nota che un aumento di 20 °C della temperatura di processo provoca un deciso aumento di velocità di ricircolo dell'olio, pari a più del 20% nell'intercapedine tra i due pezzi.

I campi di moto e temperatura determinano la distribuzione della creazione ed accumulo di acrilammide. La Fig. 3 mette in risalto il legame non-lineare tra la formazione della molecola e la temperatura: sulla base della Figura è riportata infatti la mappa termica già vista, mentre i picchi ad esso normali indicano la

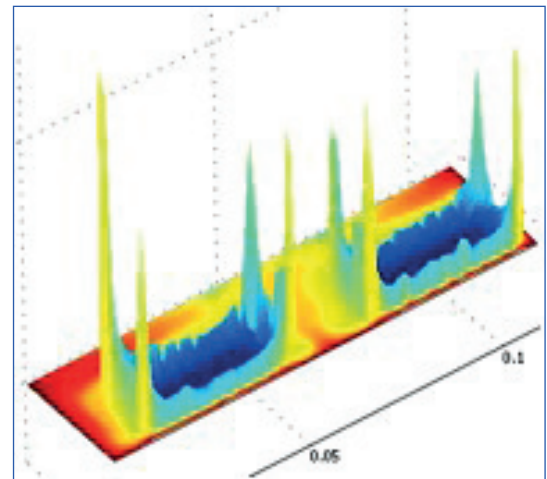


Fig. 3 - Accumulo della molecola cancerogena negli spigoli del substrato trattato

concentrazione della molecola cancerogena, in corrispondenza degli spigoli e della crosta del substrato. La distribuzione spaziale di questa è praticamente analoga per ogni combinazione tempo/temperatura: ma eseguendo altri esperimenti in-silico (ad esempio, con una cottura a 190 °C per 4 min), si vede che ad un aumento del solo 12% di temperatura corrisponde un aumento di 4 volte della massima concentrazione della molecola nociva, mentre la riduzione del tempo di processo contribuisce alla sua formazione ed accumulo solo linearmente.

## REFERENZE

- [1] Carrieri, G., De Bonis, M.V., Pacella, C., Pucciarelli, A., Ruocco, G., Modeling and validation of local acrylamide formation in a model food during frying, *Journal of Food Engineering* 95, 90-98, 2009
- [2] Carrieri, G., Anese, M., Quarta, B., De Bonis, M.V., Ruocco, G., Evaluation of acrylamide formation in potatoes during deep-frying: The effect of operation and configuration, *Journal of Food Engineering* 98, 141-149, 2010

Gianpaolo Ruocco, professore associato di Fisica Tecnica presso la Scuola d'Ingegneria, Università della Basilicata. È attivo nel trasferimento tecnologico per l'impiego di modellazione e prototipazione dei processi industriali delle aziende agroalimentari e biotecnologiche. [www.cfdfood.org](http://www.cfdfood.org)

