

# Coarsening e dinamica di fase nella crescita instabile di una superficie

Candidata: Sofia Biagi

Relatore: Dott. Paolo Politi<sup>1</sup>

Sistemi che diventano instabili modulando opportuni parametri di controllo offrono esempi di dinamiche fuori dall'equilibrio. Tra queste vi è la formazione di strutture: il subentrare dell'instabilità in uno stato uniforme spinge il sistema a riorganizzarsi e a creare qualcosa di nuovo, un diverso ordinamento, collettivo, dotato di una certa regolarità. Fenomeni che hanno un tale comportamento si osservano a tutte le scale e in vari ambiti: dalla formazione delle dune di sabbia operata dal vento all'urbanistica dettata da protocolli sociali, dalla complessa rete del sistema nervoso alla delicata varietà dei fiocchi di neve. Per comprendere la natura e le dinamiche delle strutture si studiano le condizioni che le fanno emergere, le simmetrie che le contraddistinguono, la loro evoluzione nel tempo. Una proprietà importante è rappresentata dalla taglia tipica su cui il sistema si assesta. Quest'ultima è una caratteristica non banale, dal momento che tali strutture si definiscono su una scala intermedia tra quella microscopica e quella macroscopica. Tipi diversi di dinamiche possono essere classificati in base all'evoluzione di questa taglia tipica: in particolare, se la taglia aumenta nel tempo, la dinamica prende il nome di *coarsening*, ed è appunto questo il processo intorno al cui studio si è sviluppata questa tesi.

Lo specifico fenomeno preso in esame è la crescita cristallina tramite epitassia di fascio atomico. La superficie piatta del substrato viene investita da un flusso di atomi che, giunti sulla superficie, diffonderanno prima di eleggere il sito a cui attaccarsi. Nella continua deposizione di particelle si crea così una struttura di tipo piramidale, dotata di simmetria, la cui taglia tipica potrà aumentare, eventualmente arrestandosi dopo un certo tempo, oppure rimanere costante, con un aumento dell'ampiezza della struttura stessa. All'interno della tesi e nell'ambito di un modello bidimensionale vengono indagate tutte queste possibili dinamiche per la taglia della struttura emergente.

Si utilizza il metodo perturbativo delle scale multiple, che permette di distinguere i contributi dati alla dinamica da differenti scale spaziali e temporali. In questo modo si giunge a collegare la dinamica di fuori equilibrio a proprietà delle soluzioni stazionarie del sistema che, periodiche, vengono descritte in termini di ampiezza e vettore d'onda (ovvero fase). Con il suddetto metodo, infatti, il vettore d'onda viene a dipendere in maniera lenta dallo spazio e dal tempo e l'evoluzione delle fasi risulta soddisfare delle equazioni di diffusione i cui coefficienti sono espressi in funzione delle soluzioni stazionarie; è il segno di appropriati coefficienti ad indicare la stabilità o l'instabilità della dinamica. Riconoscere modi instabili per lunghezze d'onda arbitrariamente grandi nello spettro lineare del modello e giungere a un'equazione della fase di tipo diffusivo con specifici coefficienti di segno negativo costituisce il criterio in base al quale è stato possibile analizzare la dinamica della fase e in particolare il fenomeno del *coarsening*.

Nel limite di piccola ampiezza della soluzione, è infine possibile spingersi ancora avanti nei calcoli analitici, ottenendo così la prima evidenza rigorosa di tre scenari del *coarsening* per la crescita cristallina: *coarsening*, assenza di *coarsening* e *coarsening* interrotto.

Tali risultati sono stati raggiunti sia sotto ipotesi di struttura emergente a simmetria quadrata che di struttura a simmetria esagonale.

---

<sup>1</sup>Indirizzo e-mail: Paolo.Politi@isc.cnr.it