

Dinamica dei pollini in atmosfera, velocità limite e loro scattering

Costantino Sigismondi (ICRA/Sapienza e IIS Caffè, Roma)

submitted February 3, 2020 accepted May 27, 2020

Abstract

The dimension of a Cypress' pollen makes it subject to air drag from the first phases of the free fall in the air. A conversation with the Palynologist Marzia Boi helps to understand the microscopic structures of that pollen, considerations on aerodynamics with the Engineers Nunzio Russo and Francesco Petracca framed the correct treatment; experiments with Thuja pollens (same cypress' family) and with plastic discs and hats in free fall put in relationship the microscopical world with some evident examples.

Riassunto

La dimensione dei pollini di Cipresso li rende soggetti all'attrito dell'aria, a partire dalle prime fasi della caduta libera in aria. Una conversazione con la Palinologa Marzia Boi ci aiuta a comprendere le strutture microscopiche che costituiscono questi pollini, mentre considerazioni di aerodinamica con l'Ingegnere aeronautico Nunzio Russo e l'ing. Francesco Petracca inquadrano correttamente il problema della loro dinamica in atmosfera. Gli esperimenti con i pollini di Tuja (stessa famiglia del cipresso) e quelli con dischi di plastica e cappelli in caduta libera mettono in relazione mondo micro e macro-scopico con esempi evidenti.

Sfere microscopiche

Mi pare che il polline di cipresso sia sferico di diametro sui 30 μm ;

Sì più o meno, dipendendo dal grado di idratazione e dalla specie.

qual è la sua apparenza al microscopio elettronico? è liscio, è rugoso? e la sua esina è sottile? Rigida?

Al micro SEM appare granulato, e al LO appare liscio. La esina è molto sottile e si corruga facilmente con cambi di umidità.... si rompe facilmente per essere così fine, cosa che lascia la cellula interna scoperta...

Al suo interno possiamo pensare ci sia liquido, oppure la sua densità è minore di quella dell'acqua? hai dei dati in merito?

All'interno c'è liquido, ma c'è una cellula. Ho fatto degli esperimenti con pollini conosciuti in acqua, anche con Cupressus, e tendono a immergersi

nell'acqua.... cambiano i tempi, ma tutti si immergono. Credo che non ci sia nulla di studiato su ciò...potremmo pubblicare qualcosa!

È vero che una prova potrebbe essere quella di farlo galleggiare sull'acqua, ma data la sua piccolezza si potrebbe pensare che è la tensione superficiale dell'acqua a tenerlo su, invece che la spinta di Archimede.

Non ho idea di che succede però dopo un tempo breve sprofondano tutti i tipi! Infatti si trovano pollini nel fondo degli oceani!

Dai miei primi esperimenti viene una densità di 0.4... cioè solo il 40% della densità dell'acqua, ma non capisco come fa ad essere pieno e leggero allo stesso tempo...

Magari si imbebe piano piano, e si immerge??

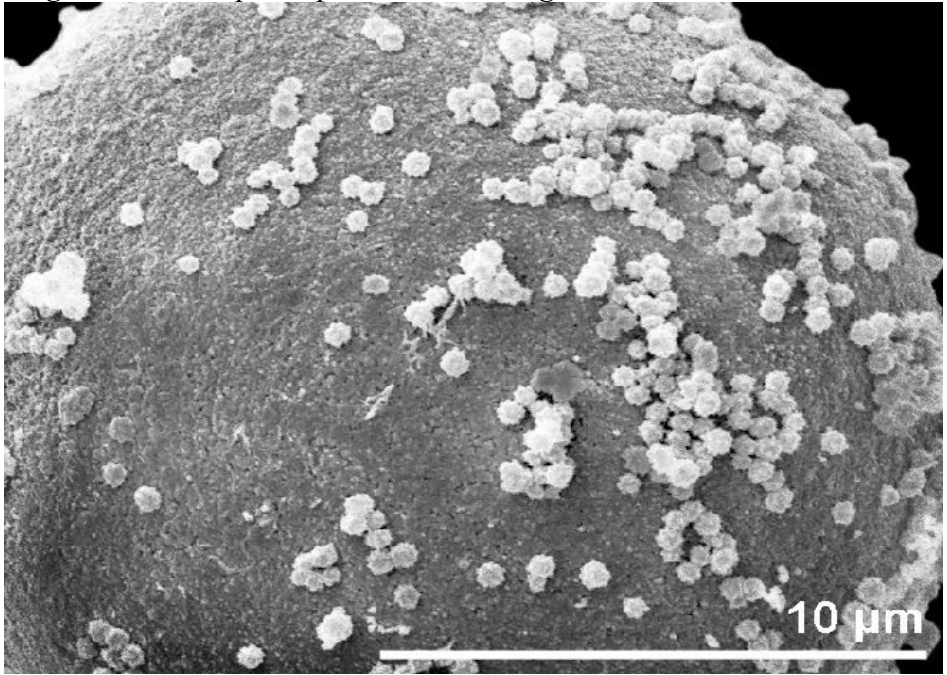


Fig. 1 Superficie dell'esina (su cui aderiscono corpi di Ubisch*) Foto di Halbritter, Heidemarie

Questo è un polline idratato *[Ubish bodies conosciute come orbicule, sferette, sono piccole strutture acellulari di sporo pollenina, ed è presente nelle cellule del tappeto. Sono semplicemente il sottoprodotto della sintesi

della sporopollenina. I corpi di Ubisch aiutano nello sviluppo del polline. In questa altra immagine

<http://www.pollenflora.it/Accorsi-Morfopalinologia/Cupressus-sempervirens-cipresso-fresco-Carla-Alberta-Accorsi.html>

invece si parla di tecniche di colorazione e di citoplasma che fuoriesce.

Fuoriesce per via dell'esina così fine.

Quale può essere la densità del citoplasma? e quella dell'intero grano di polline?

Il grano di polline è una scatola che conserva la cellula viva interna... Non ho idea della densità di Cupressus. Ho trovato una pubblicazione su polline di Amaranthus... dice: The mean density of the solid portion of the pollen grain was 1.435 kg/m³. Accounting for the density of the aqueous fraction, the mean density of a fully hydrated pollen grain was 1.218 kg/m³ (<http://www.wssajournals.org/doi/abs/10.1614/WS-08-157.1?code=wssa-site&journalCode=wees>)

io avrei trovato il citosol...con densità almeno 0.7 quella dell'acqua, ma <https://it.wikipedia.org/wiki/Citosol> non ne dà il valore.

Mi dicevi anche che l'esina è dura... e lo dicono anche qui <http://www2.le.ac.uk/departments/genetics/people/twell/lab/pollenis/wall> ma in che senso? cosa occorre fare per bucarla

Significa che è resistente ma nel caso di Cupressus si rompe facilmente.

Referenze ulteriori sulla struttura microscopica del polline:

L. D. Bunderson, E. Levetin, *Hygroscopic weight gain of pollen grains from Juniperus species*, Int. J. Biometeorology **59** 533–540 (2015).

L. M. Sosnoskie, T. M. Webster, D. Dales, G. C. Rains, T. L. Grey, and A. S. Culpepper, *Pollen Grain Size, Density, and Settling Velocity for Palmer Amaranth (Amaranthus palmeri)* Weed Science, **57**, pp. 404-409 (2009).

R. Danti, et al., *Insights into a hydration regulating system in Cupressus pollen grains*, Annals of Botany **108** 299–306, (2011).

C. Sigismondi, <https://www.youtube.com/watch?v=VKqtf8FYhRE> (2020)

C. Sigismondi, <https://www.youtube.com/watch?v=haWUUh58VAj4> (2020)

Ringraziamenti alla Dottoressa Marzia Boi, ricercatrice palinologa dell'Università di Las Islas Baleares a Palma de Mallorca (Spagna)

La caduta di un cappello e di dischi di plastica

È possibile che la grossa differenza tra il $C_d=0.38$ scritto sui testi di aerodinamica per la semi-sfera cava (vedi sito sfere e coni più sotto) e quello di 4.5 trovato da noi sia la conseguenza di una sottostima grossa della velocità limite? mi spiego: Il cappello pesa 56.8 g, quindi la massa la abbiamo misurata bene. Il raggio medio è 11.18 cm, e anche quello era ben misurato. Resta proprio la velocità che noi abbiamo cercato di misurare al meglio, supponendo però che il cappello scendesse a velocità costante.

Questo è vero se il cappello cade da tanto tempo e sempre nella stessa posizione (non facile da conservare...). Noi tecnicamente abbiamo misurato la velocità media. Nei primi istanti della caduta è quasi zero, poi cresce secondo la legge $v=g*t$ ad un certo punto quando la forza d'attrito eguaglia la gravità la velocità si stabilizza a $v=\text{costante}$.

La velocità media nel nostro esperimento è stata 2.6 m/s limitatamente a 1 metro e 80 cm. Sicuramente la velocità istantanea al momento che il cappello ha toccato terra era maggiore di 2.6 m/s... poteva essere fino a 5.2 m/s cioè proprio il doppio (facendo che la media tra 0 e v_{finale} è 2.6 m/s si ottiene proprio 5.2 come v_{finale} , e questo è il ragionamento del grande Leonardo Eulero, ma anche il medievale teorema della velocità media, anche noto come teorema di Merton.

Se il cappello arrivasse a 8 metri al secondo dopo 10-15 metri....avremmo completato un esperimento degno di una galleria del vento.

L'esperimento è stato poi completato dalle scale anti incendio della scuola lasciando effettivamente cadere il cappello da 9 metri, e trovando risultati in accordo con quelli tabulati nelle tabelle aerodinamiche. Una versione più semplice di questo esperimento nel 2020 è stata realizzata con dei coperchi di plastica dello yogurth, lasciati cadere da 1, 2, 4, e 8 metri d'altezza nella tromba delle scale, al fine di trovare la velocità limite.



Figura 1. Coefficienti di attrito di profili a 3 (sin.) e 2 (destra) dimensioni.

SHAPE			C_D	SHAPE			C_D
1)		STRING SUPPORT	0.47	12)			1.17
2)			0.38	13)			1.20
3)			0.42	14)			1.16
4)			0.59	15)			1.60
5)		CUBE	0.80	16)			1.55
6)		60°	0.50	17)			1.55
7)		SEPARATION	1.17	18)		VORTEX STREET	1.98
8)			1.17	19)			2.00
9)			1.42	20)			2.30
10)			1.38	21)			2.20
11)		CUBE	1.05	22)			2.05

Notare il disco piatto al profilo #7 delle 3D. Il coefficiente di attrito vale

1.17, mentre il profilo #6 è un cono aperto a 60°, con coefficiente 0.5. Il calcolo delle velocità terminali è più complesso e richiede si conoscano le caratteristiche aerodinamiche. La forza d'attrito D può essere calcolata

$$D = \frac{1}{2} \rho V^2 S_{\text{ref}} C_D$$

dall'equazione dove D = forza d'attrito (N) ρ = densità dell'aria (kg/m³) V = velocità (m/s) S_{ref} = area di riferimento (m²) C_D = coefficiente di attrito, che è pure dipendente dalla velocità di caduta, crescendo più l'oggetto viaggia velocemente. La velocità parte da zero quando l'oggetto è rilasciato. L'attrito C_D cresce finché la forza si annulla.

$$W = m g$$

La velocità terminale è raggiunta quando il peso W eguaglia l'attrito.

$$W = D$$

$$m g = \frac{1}{2} \rho v^2 S_{\text{ref}} C_D$$

$$v_t = \sqrt{\frac{2 m g}{\rho S_{\text{ref}} C_D}}$$

L'attrito su una sfera è dominato dalla separazione di flusso sulla sua superficie posteriore. Se possiamo minimizzare in qualche modo questa separazione, l'attrito sperimentato dalla sfera sarebbe ridotto significativamente. Vediamo questo nei dati sperimentali.

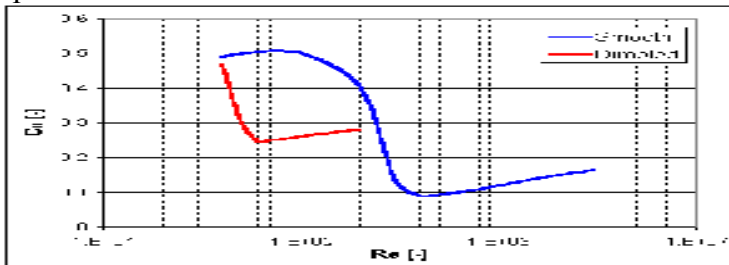


Fig. 2 Variazione del coefficiente di attrito di una sfera col numero di Re .

Il numero di Reynold è definito dalla seguente equazione:

$$Re = \frac{\rho V_{\infty} l}{\mu}$$

dove ρ = densità atmosferica, V_{∞} = velocità limite, l = lunghezza di riferimento (diametro per una sfera) μ = viscosità (o frizione)

La figura 2 mostra che c'è un cambio significativo di attrito su una sfera liscia a Reynolds number $Re=3 \times 10^5$: sotto il coefficiente è costante e vale 0.5, mentre sopra crolla al valore 0.1. Cos'è questa drastica diminuzione in attrito? Il **boundary layer** è un sottile strato d'aria presso la superficie del corpo, qui il gradiente di pressione avverso si sviluppa e causa la separazione del flusso d'aria dalla superficie.

A bassi numeri di Reynolds il **boundary layer** rimane liscio e viene chiamato **laminare**, con ridotto attrito, ma molto fragile: si può separare appena incontra un gradiente di pressione avverso; queste separazioni rendono l'attrito alto al di sotto del numero di Reynolds critico.

A quel valore il **boundary layer** diventa **turbolento**, nel punto di transizione. Un **boundary layer turbolento** provoca il mescolamento di aria presso la superficie che normalmente risulta in un attrito grande. Il vantaggio della turbolenza è che velocizza il flusso d'aria, dandogli maggior momento (massa per velocità). Come risultato il **boundary layer** resiste alle pressioni contrarie per maggior tempo, prima di separarsi dalla superficie.

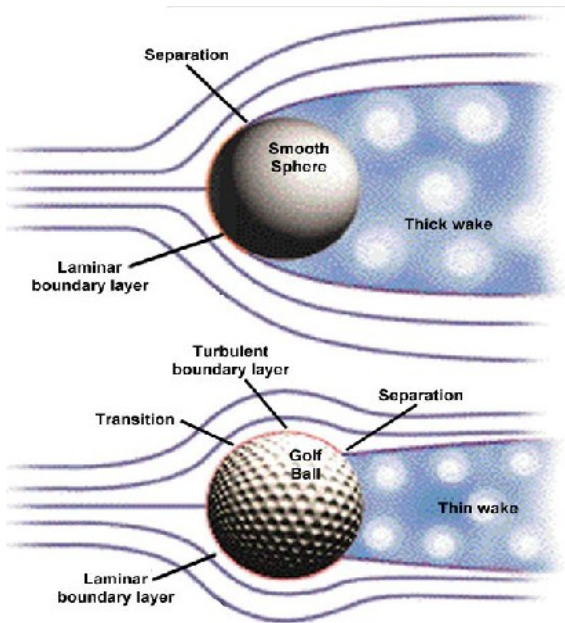


Fig. 3 Sfere lisce e sfere rugose in atmosfera

Separazione di flusso su una sfera con strato laminare rispetto ad una con flusso turbolento. La palla da golf, grazie alle sue rugosità, può andare più veloce e subire meno attrito dall'aria.

Referenze

Ecco di seguito un po' di "sitografia" che abbiamo consultato insieme
sfere e coni

<http://www.aerospacweb.org/question/aerodynamics/q0231.shtml>

palle rugose

<http://www.aerospacweb.org/question/aerodynamics/q0215.shtml>

velocità limite

<http://www.aerospacweb.org/question/dynamics/q0203.shtml>

P. Moin e J. Kim, *Tackling turbulence with Supercomputers*, Scientific American, 62-68 (Jan 1997)

Ringraziamenti: ai professori Francesco Petracca e Nunzio Russo per le preziose discussioni sui temi trattati, agli studenti del Liceo F. Caffè.

Pollini in volo, velocità e scattering

Gli esperimenti condotti tra il 2016 e il 2020 in occasione delle stagioni di pollinazione erano volti a scoprire la velocità limite dei pollini in aria.

Conoscendo le loro dimensioni e la loro forma, si poteva ricavare la loro densità, sfruttandone le leggi dell'aerodinamica appena esposte.

Gli esperimenti sono stati piuttosto difficili nella realizzazione, perché una caduta libera senza vento è praticamente impossibile, e -all'aperto- è difficile trovare le giuste condizioni di illuminazione per osservare la caduta di una nube di polline.

Va aggiunta infine anche la necessità di trovarsi a contatto con quei pollini, di cui l'autore è allergico, ma questo è stato il problema minore.

Le misure all'aperto davano l'ordine di grandezza di 20 cm/s.

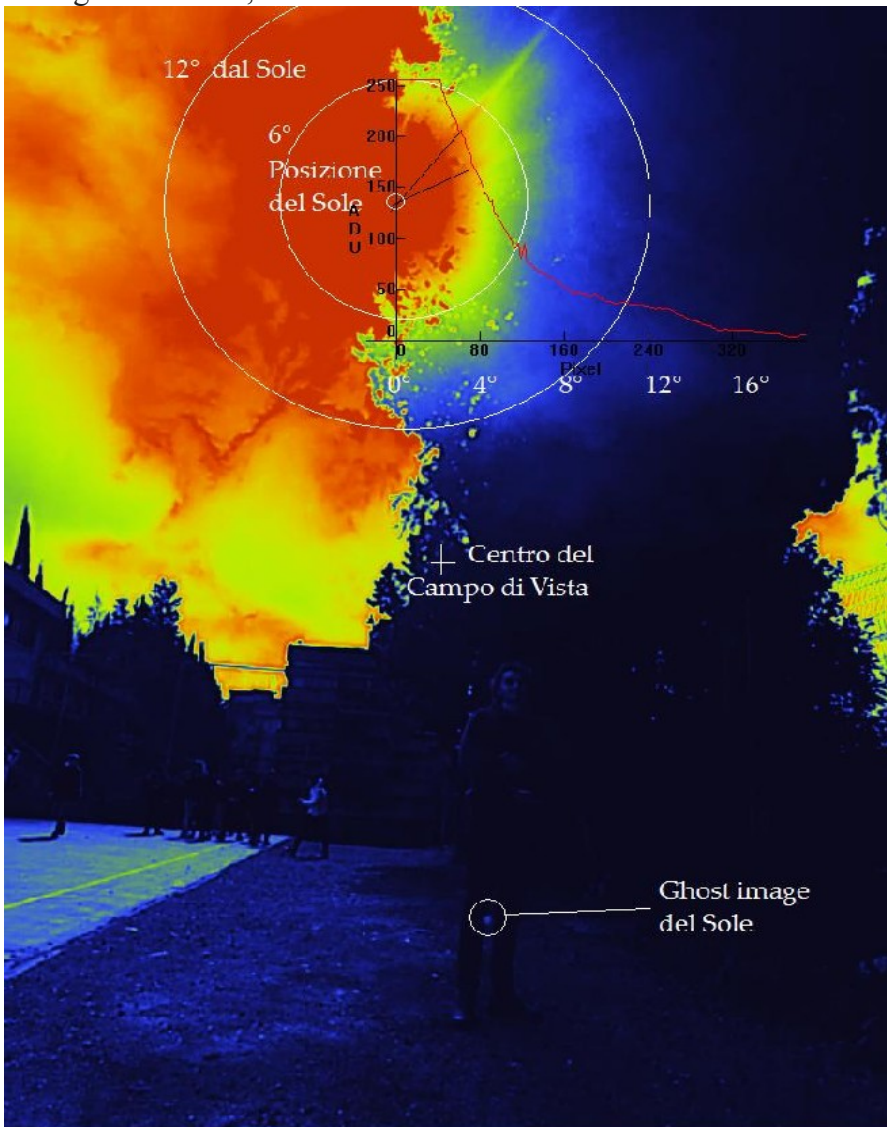
Una conferma al chiuso è stata possibile dal 3 febbraio 2020 con pollini di Tuja, reperiti nel terrazzo di casa, da un glorioso esemplare spelacchiato che va per i 50 anni di vita.

Questi pollini sono stati fatti cadere in casa in una stanza oscura sulla porta socchiusa illuminata dall'esterno. La velocità di caduta è stata confermata attorno ai 20 cm/s, scoprendo anche la presenza di insospettabili correnti d'aria che la movimentano senza evidenze macroscopiche, dove soltanto la presenza, nella stanza chiusa, dello sperimentatore -scalda l'aria- e la fa uscire dalla fenditura della porta.

Con 20 cm/s e $C_D=0.5$ $q=1.2 \text{ kg/m}^3$, invertendo l'equazione per $v_t=0.2 \text{ m/s}$ si ottiene per la massa del grano di polline di $10 \text{ }\mu\text{m}$ di raggio il valore $4.7 \cdot 10^{-9} \text{ g}$. e una densità media 1.177 volte quella dell'acqua, in buon accordo col dato citato da Marzia Boi.

Un altro motivo dell'esperimento condotto in camera oscura era anche quello di vedere lo scattering della luce da parte dei pollini, per confermare con immagini documentali l'alone da pollini, che era stato più volte tentato di fotografarsi col Sole sullo sfondo. I pollini di un singolo alberello non era sufficienti per lo scopo. La settimana successiva abbiamo avuto la pollinazione di molti esemplari di Cipresso Sempervirens del filare a scuola e abbiamo ripetuto i video colpendo i rami più bassi con una canna.

Un profilo dello scattering di Mie da pollini è stato ottenuto analizzando un'immagine da video, trasformata in falsi colori con il software IRIS.



RIELABORAZIONE FALSI COLORI CON IRIS del FOTOGRAMMA 12:48:12 del 19 Febbraio 2020

Fig. 4 Profilo radiale dello scattering di Mie dei pollini di Cipresso