

CAPITOLO 1

L'AEROSOL BIOLOGICO E LE DISCIPLINE CHE LO STUDIANO.

Renato Ariano

**Unità Operativa Complessa di Medicina Interna
A.S.L. n. 1 Imperiese – Ospedale “Saint Charles” di Bordighera**

Il pianeta sul quale viviamo è avvolto e protetto da una sorta di membrana gassosa di circa 500 Km di spessore, denominata atmosfera. Questa membrana fluida è composta per il 78% da azoto, per il 21% da ossigeno e per il restante 1% da argon, anidride carbonica ed altri gas. Oltre a questi gas l'atmosfera può contenere grandi quantità di vapore acqueo (fino al 4 %), in concentrazioni che variano a seconda della quota e della latitudine. E' proprio l'atmosfera terrestre che ha consentito lo sviluppo della vita sul nostro pianeta mantenendo temperatura, umidità e pressione su indici ideali per la sopravvivenza dell'organismo umano. L'atmosfera assorbe parte dell'energia del Sole, ricicla l'acqua ed altri elementi chimici e, congiuntamente alla forza elettromagnetica modera il clima. Inoltre ci protegge dalle radiazioni ad alta energia che arrivano dallo spazio (1). L'atmosfera è suddivisa in strati concentrici di diverso spessore e disomogenei per temperatura e densità (decescente verso l'alto), che a partire dal basso sono:

STRATO	ALTEZZA
TERMOSFERA MESOPAUSA	Sino a 400 km di quota
MESOSFERA STRATOPAUSA	60-90 km di quota
STRATOSFERA TROPOPAUSA	14-60 km di quota
TROPOSFERA	0-14 km di quota

TROPOSFERA (0 - 14 Km): è lo strato più denso dove avvengono tutti quei fenomeni di carattere meteorologico, sede della maggior parte dei fenomeni meteorologici; la temperatura decresce con l'altezza (sino a – 52%). La Troposfera contiene la maggior parte del vapor acqueo, del pulviscolo atmosferico ed è sede dei moti convettivi dell'aria. Il limite superiore della troposfera è la tropopausa, una zona di transizione il cui spessore massimo è di 2 Km. In prossimità di questa zona cambia il gradiente termico. A livello della superficie del suolo vi è uno strato laminare di confine, normalmente senza vento, al di sopra di questo stato vi sono strati di turbolenza aerea.

STRATOSFERA (14 - 60 km): contiene lo strato di ozono che ci protegge dalle radiazioni ultraviolette, assorbendole; la temperatura cresce con l'altezza (sino a – 3°C).

MESOSFERA (60 - 90 km): il gas diventa molto più rarefatto; la temperatura decresce con l'altezza (sino a – 93°C). E' separato dalla STRATOSFERA dalla STRATOPAUSA ed e' caratterizzato da

un andamento prima altalenante della temperatura (prima decresce sino a -93), poi crescente fino a circa $300\text{ }^{\circ}\text{C}$. La MESOPAUSA è lo strato di transizione tra la MESOSFERA e la TERMOSFERA ; raggiunge temperature di circa $-70^{\circ}\text{C}/- 100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La TERMOSFERA invece si estende fino a 400 km di quota, in essa la temperatura cresce con la quota. La TERMOSFERA presenta strati di gas ionizzati (IONOSFERA) che consentono la propagazione delle onde radio ma ed e' sede di importanti fenomeni elettrici e geomagnetici come le aurore polari. L'ultimo strato, è l'ESOSFERA (dai 4-500 km in su): è la parte meno conosciuta della nostra atmosfera, dove essa decresce in densità fino a perdersi nello spazio. E' separata dalla TERMOSFERA dalla TERMOPAUSA I componenti primari di questa regione dell'atmosfera sono l'idrogeno e l'elio, presenti peraltro a densità estremamente basse. Nell' ESOSFERA la temperatura e' costante con la quota.

La composizione chimica media dell'atmosfera è la seguente:

- Azoto (N_2): 78,08%
- Ossigeno (O_2): 20,95%
- Argon (Ar): 0.93%
- Vapore acqueo (H_2O): 0,33%
- Anidride carbonica (CO_2): 0,032% (320 ppm)
- Neon (Ne): 0,00181% (18 ppm)
- Elio (He): 0,0005% (5 ppm)
- Metano (CH_4): 0,0002% (2 ppm)
- Idrogeno (H_2): 0,00005% (0,5 ppm)
- Kriptone (Kr): 0,000011% (0,11 ppm)
- Xeno (Xe): 0,000008% (0,08 ppm)
- Ozono (O_3): 0,000004% (0,04 ppm)

Sono anche presenti, in tracce, Ossidi di azoto (NO , NO_2 ; N_2O), Monossido di carbonio (CO), Ammoniaca (NH_3), Biossido di zolfo (SO_2), Solfuro di idrogeno (H_2S).

Nell'atmosfera, oltre alle sostanze gassose e all'umidità sono presenti numerosi e diversi materiali solidi, il cui insieme prende il nome di PULVISCOLO ATMOSFERICO. Composto di innumerevoli piccolissime particelle di sostanze organiche ed inorganiche, che per la loro leggerezza si trovano in sospensione nell'aria, specialmente negli strati inferiori, in quantità e qualità molto variabili a seconda i luoghi. Esso costituisce i nuclei di condensazione intorno ai quali si raccoglie l'umidità per formare le gocce di pioggia o i cristalli di neve.

TIPI DI PARTICELLE PRESENTI NEL PULVISCOLO	Diametri (μm)
fumi	0.001/0.1
nuclei di condensazione	0.1/20.0
polveri	0.1
virus	0.015/0.45
batteri	0.3/10
spore fungine	1.0/100
alghe	0.5
frammenti di licheni	1.0
protozoi	2.0
spore di briofite (muschi)	6.0/30.0
spore di pteridofite (felci)	20.0/60.0
pollini	10.0/100.0
frammenti vegetali e animali, semi e insetti	>100

I materiali che formano il pulviscolo atmosferico sono molto vari; sono di origine biologica, di origine inorganica naturale, di origine antropica.



Figura 1 - Evaporazione da fiumi.

Tra i materiali di origine biologica si possono distinguere quelli visibili ad occhio nudo: ad esempio frammenti di vegetali e di insetti, peli degli animali ed i semi delle piante e quelli non visibili ad occhio nudo: come i granuli pollinici, le spore fungine, batteri e alghe.

I materiali di origine inorganica naturale sono formati dalle ceneri vulcaniche e da sabbie fini. Le ceneri vulcaniche sono prodotte durante l'attività esplosiva e possono sollevarsi fino a raggiungere gli strati più alti della troposfera; sono poi raccolte dai venti presenti a queste alte quote ed ivi possono rimanere anche per anni, prima di tornare al suolo. Le sabbie fini sono sollevate dal vento e disperse nell'alta troposfera, spostandosi anche a migliaia di chilometri di distanza.

I materiali inorganici di origine antropica derivano dalle attività industriali, dal traffico automobilistico e dagli impianti di riscaldamento. Sono costituite da residui della combustione, particelle incombuste, frammenti delle gomme derivanti all'attrito con l'asfalto. Le polveri atmosferiche sono definite con i nomi più diversi, tra i quali i più usati sono: PTS (polveri totali sospese) e PM (dall'inglese "particulate matter").

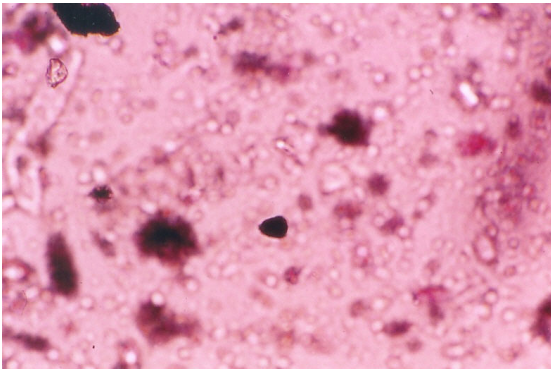


Figura 2 - Particolato atmosferico.

Le polveri totali sospese (PTS) sono un insieme molto eterogeneo di particelle solide e liquide che, a causa delle ridotte dimensioni, restano in sospensione nell'aria. Le dimensioni del pulviscolo e dei particolati in generale sono definite mediante il Particulate Matter, abbreviato in PM: ad esempio le particelle sospese con dimensioni inferiori a $10\ \mu$ sono indicate come PM₁₀ (2). Il diametro delle particelle può variare da un valore minimo di $0,005\ \mu\text{m}$ fino ad un massimo di $100\ \mu\text{m}$. Si distinguono particelle grossolane che hanno un diametro compreso tra $2,5$ e $30\ \mu\text{m}$ e particelle fini le particelle, che hanno un diametro inferiore a $2,5\ \mu\text{m}$. Il PM 2.5 è la frazione più fine del PM₁₀, costituita dalle particelle con diametro uguale o inferiore a $2,5\ \mu\text{m}$. Il PM 2,5 può rimanere sospeso nell'atmosfera per giorni o settimane. Le particelle maggiori (da $2,5$ a $10\ \mu\text{m}$) rimangono in atmosfera da poche ore a pochi giorni, contribuiscono poco al numero di particelle in sospensione, ma molto al peso totale delle particelle in sospensione. Il PM 2,5 è una miscela complessa di migliaia di composti chimici e, alcuni di questi sono di estremo interesse a causa della loro tossicità. L'attenzione è rivolta agli idrocarburi aromatici policiclici (PHA). Le polveri PM₁₀ sono denominate anche polveri inalabili, in quanto sono in grado di penetrare nel tratto superiore dell'apparato respiratorio (dal naso alla laringe). Le polveri PM_{2,5} sono invece denominate polveri respirabili in quanto sono in grado di penetrare nel tratto inferiore dell'apparato respiratorio (dalla trachea sino agli alveoli polmonari). Una volta emesse, le polveri PM₁₀ possono rimanere in sospensione nell'aria per circa 12 ore, mentre le particelle aventi diametro pari ad $1\ \text{mm}$ rimangono in circolazione per circa un mese.

I materiali organici trasportati in atmosfera sono costituiti da particelle derivate da piante e dai funghi, certe alghe, batteri, actinomiceti. In biologia questo insieme di particelle è definito **AEROPLANKTON**, per analogia con quello acquatico. Vi rientrano molti insetti per i quali il vento è un importante fattore di migrazione. Altri preferiscono il termine di **AEROSOL BIOLOGICO**, definizione che adotteremo in quanto ci pare più affine alla nostra panoramica allergologica. S'intende per aerosol un sistema bifasico che può essere inalato e che è rappresentato da una fase gassosa continua (ossigeno, azoto, ecc.) e da una fase discontinua di singole particelle il cui diametro è compreso tra gli $0,001$ millimicron e i 100 millimicron. Per aerosol biologico s'intende quindi la dispersione nell'atmosfera di particelle liquide o solide di origine biologica, che possono essere o no vitali. In questo senso l'intera atmosfera che avvolge il globo terrestre può essere definita come un'immenso aerosol biologico.



Figura 3 - Aerosol biologico terrestre.

Le caratteristiche dell'aerosol biologico variano secondo le zone dove questo è campionato. Riassumendo le particelle che costituiscono l'aerosol biologico sono:

- a) Organismi unicellulari come protozoi, batteri, virus, alghe, spore di felci e muschi, lieviti;
- b) Cellule a funzione riproduttiva come granuli pollinici, spore fungine, semi, uova;
- c) Sostanze prodotte da piante o animali;
- d) Frammenti di organismi come scaglie, squame, prodotti di deiezione, peli, ecc.

Le particelle si possono distinguere anche in **componenti abituali**, rappresentati da gli organismi unicellulari e le particelle riproduttive (in quanto svolgono un definito ruolo biologico) e in **componenti occasionali**, rappresentati da tutte le altre particelle (prive di una precisa funzione biologica). Si distinguono **particelle vitali** (che sono in grado di moltiplicarsi su di un mezzo di coltura) e **particelle non vitali** (che vengono identificate solo morfologicamente, con colorazioni idonee). Le dimensioni delle particelle che formano l'aerosol biologico presentano un vasto ambito che va da 20 nanometri dei virus più piccoli (un nanometro è uguale a un milionesimo di millimetro) ai semi anemofili delle piante (sino ad alcuni millimetri). Possono essere trasportati, nell'aerosol biologico anche frammenti di cellule microbiche (porzioni della parete cellulare) oppure prodotti del loro metabolismo (endotossine, micotossine, composti organici volatili). Le fonti sono prodotte da eventi naturali, e da attività antropiche.

Fonti naturali: L'aerosol può essere immesso in atmosfera dall'azione della pioggia e del vento sulla superficie del suolo terrestre, con la liberazione delle varie particelle e frammenti di vario genere, di natura organica ed inorganica, del vento sui deserti sollevando sabbie finissime, sempre del vento sugli oceani con trasporto di spume marine. Grandi quantità di particelle sono immesse dai vulcani. Alcuni organismi viventi (animali e vegetali) utilizzano queste correnti come loro mezzo di trasporto abituale. Le correnti dei laghi e dei fiumi, nonché il moto costante delle onde marine determinano, a loro volta, una produzione di aerosol dai sedimenti.

Fonti antropiche: Numerosissime particelle sono immesse in atmosfera dalle attività dell'uomo come le coltivazioni, l'allevamento, le discariche di rifiuti, i depuratori, gli inceneritori. Si valuta inoltre che l'uomo sia la sorgente principale di disseminazione di batteri e virus, nell'atmosfera

indoor. Questa disseminazione può avvenire tramite l'espiazione, la pelle, la bocca, il naso, i capelli. Questi microrganismi viaggiano in atmosfera incorporati in minute particelle liquide che funzionano, oltre che come mezzo di trasporto, da protezione. Negli ambienti indoor l'aerosol biologico del microclima è costituito soprattutto dai prodotti di deiezione degli Artropodi onnipresenti. Questi sono rappresentati non solo dagli Acari della polvere ma anche da insetti di vari generi e specie, inoltre anche da spore fungine. Gli inquinanti degli ambienti indoor possono però essere anche di tipo chimico e fisico come alcool, chetoni ed acidi, idrocarburi aromatici (vernici, colle), idrocarburi alogenati (pesticidi o conservanti del legno), formaldeide (presente in alcuni detergenti o su mobili in compensato e truciolato).

AEROBIOLOGIA

L'Aerobiologia costituisce una branca della biologia ed è una disciplina che studia appunto l'aerosol biologico formato da particelle biologiche e gli organismi aerotrasportati, in particolare ne studia le fonti, la liberazione, il trasporto, la deposizione, il riconoscimento e i diversi tipi di effetti sui vari substrati (3) L'Aerobiologia comprende anche la **PALINOLOGIA** il cui studio riguarda specificatamente granuli pollinici e spore fungine. L'Aerobiologia è una disciplina relativamente nuova che ha molte interconnessioni con diverse altre discipline come la medicina, la fisica, la meteorologia. Un'applicazione medica dell'aerobiologia è lo studio delle malattie infettive aerotrasmesse. Un'altra applicazione in medicina è in Allergologia, in quanto studia tutti gli allergeni inalanti (4, 5, 6).

In questa trattazione ci dedicheremo soprattutto alle applicazioni dell'Aerobiologia in campo allergologico, citando solo le varie altre applicazioni in altri campi. Le fonti, il riconoscimento e gli effetti delle particelle allergeniche sono descritte in appositi capitoli per cui qui descriveremo solo le modalità di liberazione, di diffusione e di deposizione.



Figura 4 - Campionatore aerobiologico.

LIBERAZIONE

La liberazione delle particelle che fanno parte dell'aerosol biologico varia a seconda delle proprie caratteristiche. Al fine di essere liberate in atmosfera le particelle devono vincere le forze di adesione che le legano al loro substrato ed entrare nello strato turbolento della troposfera. Il meccanismo di liberazione in genere è passivo e richiede dell'azione di agenti esterni come il vento e la pioggia. A questo livello è diverso il comportamento di pollini e di spore. I pollini in condizioni ambientali di umidità relativa elevata tendono a non liberarsi (7). Al contrario è il comportamento delle spore fungine, che sono facilitate nella loro maturazione e liberazione dalle condizioni di umidità elevata. Quanto più risulta alta la velocità del vento tanto più sarà facilitata la liberazione delle singole particelle dal loro substrato, per azione meccanica. Il meccanismo della pioggia consiste nel trasmettere l'energia cinetica della propria caduta alle particelle adese al substrato o ad altre particelle favorendone la liberazione in senso centrifugo. Inoltre nella loro caduta le gocce di

pioggia generano un'alterazione dello strato d'aria laminare di confine in cui si determina una turbolenza. Per i microrganismi il sistema di liberazione è fornito da starnuti, tosse, fonazione e respirazione. In questo caso la sopravvivenza di virus e batteri dipende dalla dimensione della goccia in cui sono dispersi. Più questa è piccola e minore sarà la probabilità di sopravvivenza. In genere, poi, batteri ed alghe sono più vulnerabili, rispetto alle spore fungine, da parte dello stress derivante dal trasporto aereo. Gli aerosol secchi, caratterizzati da particolato, proteggono maggiormente batteri, virus ed alghe in quanto il particolato svolge un ruolo protettivo nei confronti delle radiazioni ionizzanti e dell'essiccazione.

DIFFUSIONE

Le particelle che fanno parte dell'aerosol biologico sono soggette alle leggi dell'aerodinamica. sollecitazioni che ricevono dai movimenti dell'atmosfera e, una volta in volo, per la legge d'inerzia tendono comunque a mantenere un percorso rettilineo. La particella singola è generalmente paragonata ad una sfera e pertanto si può definirne un raggio r ed un diametro d . Per valutarne l'aerodinamicità si considera il diametro aerodinamico che descrive la grandezza effettiva di una particella di diametro d e di densità. Il diametro aerodinamico corrisponde al diametro di una sfera di densità unitaria che ha la stessa velocità di sedimentazione della particella in esame, considerandone sia la forma sia la densità. I granuli pollinici, avendo una densità di 1,20-1,50, presentano un diametro aerodinamico di poco superiore al loro diametro reale. Il percorso delle particelle dell'aerosol biologico è in definitiva una risultante di diverse forze fisiche quali la forza di gravità, gli spostamenti gassosi in atmosfera, l'attrito con le molecole dell'aria. La tendenza delle particelle a deviare dal loro percorso è in funzione delle loro dimensioni. La media del diametro dei pollini è di circa 25 millimicron e la loro velocità di caduta, in condizioni d'assoluta stabilità atmosferica, secondo la legge di Stoke, dovrebbe essere di 7,5 cm al secondo (8). Tuttavia nella maggior parte dei casi (circa l'80%) i pollini si depositano sul terreno a pochi metri di distanza dalla loro sorgente (9).

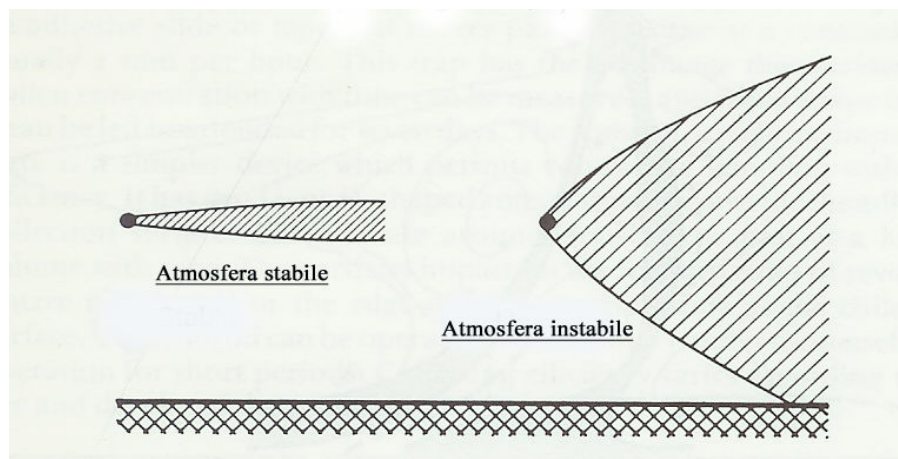


Figura 5 - Diffusione d'aerosols biologici in situazioni di atmosfera stabile ed instabile (modificato da Nilssen, 1973).

L'atmosfera terrestre è stata anche descritta come un oceano d'aria agitato, difatti è formata da diversi strati eterogenei, ne consegue che l'alternanza di strati d'aria calda e fredda e in movimento determina la cosiddetta turbolenza atmosferica. In quest'oceano il trasporto della particella presente nell'aerosol biologico seguirà le leggi del trasporto a microscala, a mesoscala ed a lungo raggio. Tuttavia il rimanente 20% dei granuli pollinici, assieme ad una porzione variabile d'altre particelle, si diffonde in alto, costituendo quella che Gregory definì "frazione di fuga" (3). Occorre specificare che sia i pollini sia le spore fungine presentano membrane con protuberanze che tendono a favorirne

l'aerodinamicità, offrendo una resistenza alla caduta in aria, che con la propria viscosità si oppone alla loro discesa. In prossimità della superficie terrestre vi è uno strato d'aria estremamente sottile delimitato da forze molecolari che formano sopra di esso una pellicola di aria in movimento nota come STRATO LAMINARE DI CONFINE, in cui il flusso d'aria è parallelo alla superficie del terreno.

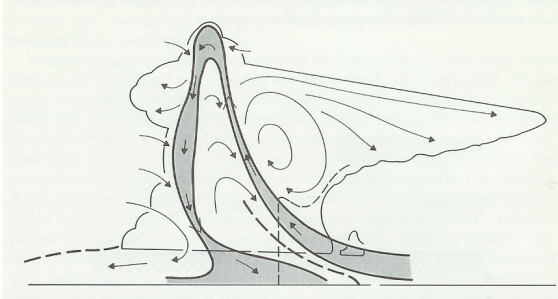


Figura 6 - Diagramma del comportamento di aerosols biologici durante un temporale (modificato da Nilssen, 1973).

A questo livello il granulo pollinico può essere trasportato per percorsi a media distanza. Nello strato immediatamente a contatto con il suolo fino ad una quota media all'incirca sui 15 km, la temperatura diminuisce con l'altezza di circa 0.65 gradi per ogni 100 metri. Inoltre, per ogni 6 km d'aumento dell'altitudine, la pressione si dimezza. Questo significa che ad altitudini maggiori i gas sono meno densi. La densità è la misura della quantità di massa contenuta in un volume fissato. La densità è molto maggiore nella troposfera e quindi in essa è contenuta una quantità di aria molto maggiore di quanta ce n'è negli strati più alti. Le particelle saranno soggette a dei moti convettivi: l'aria calda è meno densa e quindi più leggera dell'aria fredda, pertanto tenderà a sollevarsi per effetto di una corrente ascensionale. Nelle ore più calde del giorno il riscaldamento della superficie del suolo determina quindi movimenti convettivi negli strati atmosferici più bassi perciò le particelle possono raggiungere anche alte quote, intorno ai 10.000 m. Mentre negli strati atmosferici più prossimi al suolo, nei primi 50-150 metri, l'aria non si può muovere liberamente, alle alte quote si riscontra un diverso comportamento. A quest'altezza l'atmosfera è più rarefatta e le correnti d'aria tendono ad andare nella stessa direzione, con maggiore stabilità delle correnti ai livelli più elevati. Per questo motivo, a questo livello le particelle possono essere trasportate da moti del vento orizzontali anche per percorsi lunghissimi. In genere le particelle più piccole, rappresentate da batteri, virus, alcune spore fungine possiedono una velocità di caduta meno elevata e pertanto riescono a galleggiare a lungo in atmosfera, con possibilità di essere trasportate a lunga distanza. Differentemente i pollini e le spore fungine più grandi percorrono, in genere, tragitti più corti. Le condizioni ideali per il trasporto a lunga distanza sono, in un primo tempo, condizioni di turbolenza dell'aria affinché il polline strascinato in alto e, in un secondo tempo, condizioni di stabilità per un trasporto prolungato, in alta quota (3, 9, 10). Nella troposfera vi sono spesso variazioni diurne di stabilità. Gli stati d'aria prossimi alla superficie del suolo tendono ad essere stabili durante la notte a causa del raffreddamento del terreno. Al mattino, poi, il riscaldamento della superficie terrestre, provocato dall'irradiazione solare, produce instabilità dell'aria. Tra le 10 e le 12 i granuli pollinici, per un movimento convettivo, causato dal riscaldamento dell'aria, possono raggiungere altezze. Invece, di notte, quando si verifica un'inversione della temperatura, con abbassamento della temperatura del terreno si ridurrà la possibilità di un passaggio dei pollini dal basso all'alto, in quanto in questo caso la temperatura dell'aria aumenterà con l'altezza. Questa situazione meteorologica favorirà il trasporto a lunga distanza del polline, che potrà restare sospeso in aria per diversi giorni. Il trasporto a lunga distanza si può anche verificare durante violenti temporali in cui si determinano movimenti verticali dell'aria. Esistono numerosi studi che dimostrano questo trasporto che può raggiungere migliaia di chilometri, dalla Svezia agli U.S.A., dalle Isole Chatham

alla Nuova Zelanda, dal Sahara alla Svezia (9, 10, 11, 12, 13, 14). Si pone il problema, a questo punto, se questi pollini che hanno fatto un così lungo percorso possano ancora considerarsi allergizzanti. Questa è un'ipotesi suggestiva, sostenuta da alcuni ricercatori. Frey T. (15) riferisce che in Svizzera, si manifestano ben documentate pollinosi da Ambrosia, in tarda estate, che sembrano conseguenza del trasporto dalla Francia. In una nostra personale esperienza (di cui riferiamo nel capitolo sui pollini) abbiamo dimostrato la persistenza d'attività allergenica in pollini "vecchi" di almeno sei anni.



Figura 7 - Trasporto di polline a lunga distanza a mezzo di venti stratosferici.

DEPOSIZIONE

Terminato il loro volo, breve o lungo che sia, se l'atmosfera è stabile le particelle tendono a cadere al suolo, per forza di gravità, in quanto sono più pesanti dell'aria. I meccanismi di deposizione possono essere vari: per sedimentazione, per deposizione elettrostatica, per impatto inerziale, per deposizione da gocce di pioggia.

La **SEDIMENTAZIONE** avviene soprattutto in condizioni di stabilità atmosferica. Permanendo nello stadio laminare di confine, che si può estendere da pochi millimetri di giorno ad alcuni metri di notte (quando si verifica l'inversione termica, per raffreddamento del suolo), o ritornandovi con cambio di strato dalle quote più alte, le particelle possono essere soggette solo alla legge di gravità.

La **DEPOSIZIONE ELETTROSTATICA** avviene per opera delle cariche elettriche presenti sulle singole particelle che sarebbero attratte dalle cariche opposte presenti al suolo.

L'**IMPATTO INERZIALE** è un meccanismo che richiede la presenza di vento ad alta velocità in quanto le particelle in volo, per la legge d'inerzia tendono comunque a mantenere un percorso rettilineo ed ad impattare su ogni superficie che incontrano

La **DEPOSIZIONE PER PIOGGIA** procurano la caduta al suolo soprattutto dei granuli pollinici tramite la cosiddetta "pulizia dell'aria". Le gocce prodotte dalle piogge possono avere diversa grandezza da 1 mm a 5 mm. Quello che conta è soprattutto la durata della pioggia più che la sua intensità. I pollini abbattuti da grosse gocce possono sopravvivere a precipitazioni di breve durata.

Inoltre nelle fasi iniziali della pioggia le prime gocce con il loro impatto possono favorire un'iniziale liberazione d'aerosols che solo il prolungarsi della precipitazione farà ricadere al suolo.

Analoghi meccanismi entrano in gioco per la deposizione delle particelle nell'albero respiratorio. La respirazione per via orale presenta una minore resistenza al flusso aereo rispetto a quello nasale. L'impatto inerziale, a livello delle vie aeree, è facilitato da una respirazione superficiale e rapida che permette una deposizione, a livello dell'orofaringe e dei bronchi, sino ad un diametro di 2 mm. Riguarda le particelle più grosse di diametro superiore a 10 millimicron.

La sedimentazione gravitazionale è invece favorita da una respirazione lenta e profonda e dall'apnea e permette una deposizione di particelle di diametro inferiore a 2 millimicron a livello delle piccole vie aeree con diametro inferiore ai 2 mm .

La diffusione si può realizzare per particelle submicroniche ed in condizioni d'assenza di flusso.

AEROBIOLOGIA IN ALLERGOLOGIA

Come abbiamo già detto sopra l'aerobiologia è utilizzata da tempo in campo allergologico, come utile strumento di valutazione per le allergie respiratorie. Il monitoraggio aerobiologico dei pollini allergenici aerodisperse è in particolare utile nel campo delle pollinosi. Questo tipo di patologie sono causate dal contatto di granuli pollinici con le mucose o la cute di soggetti specificatamente sensibilizzati a quei determinati pollini, e quindi a carattere stagionale, nei periodi di fioritura delle piante che producono quei determinati granuli pollinici. Manifestazioni tipiche di queste forme morbose sono date dalle riniti, congiuntiviti, asma bronchiale, dermatiti. Le tecniche per il campionamento saranno trattate in un apposito capitolo. Qui ricorderemo solo che sono diverse e si basano su principi di deposizione gravitazionale (apparecchio di Durham), d'impatto inerziale (apparecchio Rotorod), d'impatto per depressione (apparecchio Hirst). Questi apparecchi forniscono un conteggio numerico dei granuli per metro cubo d'aria e la possibilità di una loro identificazione specie per specie. Le applicazioni in allergologia del campionamento aerobiologico (basato non solo sulle conte delle particelle polliniche ma anche delle spore fungine) sono diverse ed attengono alla diagnosi, alla prevenzione, al controllo clinico, alla terapia dei pazienti allergici. Non bisogna trascurare poi le applicazioni legate alla ricerca scientifica. Nella diagnosi delle forme allergiche il monitoraggio pollinico servirà per correlare le presenze polliniche con l'anamnesi del paziente, inoltre per correlare le medesime alle risposte dei tests diagnostici. Questo potrà essere utile per comprendere se quel determinato polline sia veramente in gioco nel determinismo del sintomo. Inoltre la conoscenza di tutti i granuli pollinici effettivamente presenti in quel determinato momento ci potrà essere molto utile per la scelta di tutti gli estratti diagnostici da utilizzare per la nostra diagnosi. Il monitoraggio delle presenze stagionali in atmosfera di spore fungine e di granuli pollinici permettono di stilare dei calendari aerosporologici delle zone in cui avviene il campionamento.



Figura 8 - Campionatore per impatto di depressione. Apparecchio di Hirst, modello Burkard.

Furono appunto le abbondantissime presenze di granuli di Cupressaceae sui vetrini di campionamento aerobiologico ad indirizzare l'attenzione dei ricercatori in Italia su questa famiglia di piante, a fioritura invernale, prima di allora trascurate sotto il profilo diagnostico ed attualmente considerate una non trascurabile fonte di allergia, nell'area mediterranea (17-20).



Figura 9 – Piante di Cipresso.

Siccome le recenti variazioni climatiche hanno provocato dei corrispondenti cambiamenti ambientali e, purtroppo, è prevedibile un'evoluzione di tali cambiamenti si ritiene che un monitoraggio sporo-pollinico costante sarà ulteriormente utile, in futuro, per controllare l'evoluzione allergologica di questa situazione in movimento. Per la prevenzione delle malattie in quanto dal monitoraggio pollinico si potranno ricavare criteri di previsione di fioritura. Questi saranno differenziati per zone geografiche e potranno essere definiti, per zone e per diverso tipo di polline, solo dopo un certo numero d'anni di campionamento e con opportuna correlazione con i dati meteo. Per il controllo clinico la conoscenza delle concentrazioni di determinati pollini potranno essere di aiuto per valutare le variazioni di diversi parametri clinici e di laboratorio e per la valutazione delle variazioni della sintomatologia dei pazienti. E' chiaro che un miglioramento clinico assumerà maggiore importanza se si verificasse durante un periodo di alta fioritura piuttosto che se avvenisse in un periodo in cui la presenza atmosferica dei pollini, relativi alla sensibilizzazione del paziente, fosse scarsa o assente.

Nel campo della terapia il monitoraggio pollinico sarà utile guida ad un adeguato trattamento farmacologico ed una modulazione dei dosaggi d'immunoterapia specifica. In particolare questo giudizio assumerà importanza nel lungo periodo di tempo, confrontando più stagioni tra loro, e soprattutto nella valutazione degli effetti della desensibilizzazione specifica, in cui i criteri di valutazione non possono derivare che da una corretta interpretazione e confronto di diverse stagioni di fioritura. A questo proposito occorre aggiungere che anche la modulazione del trattamento sia farmacologico che immunoterapico (intendiamo con ciò la desensibilizzazione specifica) necessita di una guida orientata quale la conoscenza esatta delle presenze polliniche nel corso del tempo. E' risaputo che in fase di fioritura occorre ridurre almeno del 50% le dosi d'estratto desensibilizzante. Nella ricerca il monitoraggio pollinico si è rivelato fondamentale in corso di studi programmati sulle terapie farmacologiche o d'immunoterapia, nelle pollinosi e nelle allergopatie respiratorie da spore di miceti. In un lavoro del 2000 Malling (21) sottolineava l'importanza di una correlazione tra conte polliniche e controllo degli scores sintomatologici, nel corso di ogni studio controllato sull'immunoterapia, proponendo un suo modello statistico. Si ritiene che ormai nessuno studio controllato che voglia valutare l'efficacia dell'immunoterapia specifica (anche riguarda allergeni

perenni, al fine di valutare eventuali interferenze aspecifiche da parte dei pollini- vedi capitolo sui pollini) dovrebbe essere privo di una correlazione con le conte polliniche.

VARI CAMPI DI APPLICAZIONI DELL'AEROBIOLOGIA

Come abbiamo già detto l'Aerobiologia è una disciplina che ha molti interessi in comune con diverse discipline scientifiche. Nell'ambito dell'Allergologia va considerata la Palinologia. Questa si occupa fondamentalmente dello studio dei granuli pollinici, ma si allarga anche ad altre particelle vegetali (ad es. spore, cisti algali) e perfino a disseminuli di cui ancora incerta è l'attribuzione ad un determinato regno. Il termine, introdotto da Hyde e Williams nel 1940 (22), infatti deriva dal verbo greco *palynein* che significa diffondere o spargere attorno e, malgrado abbia assonanza col termine "polline", non deriva direttamente da esso. La disciplina nasce verso la metà del secolo scorso, ma si sviluppa compiutamente in tutte le sue ramificazioni verso la prima metà del nostro secolo. Si distingue una **MORFOPALINOLOGIA** che fornisce la possibilità di identificare i tipi pollinici. Essa sistematicamente osserva e definisce i diversi parametri morfologici (raggruppamento, polarità, simmetria, aperture, sporoderma, esina, dimensioni, perimetro, forma, aperture) specifici per ogni taxon. Ha stretti rapporti con altre discipline scientifiche come la Sistematica, la Tassonomia (23).

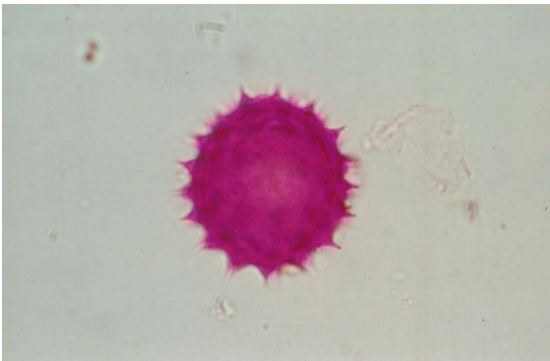


Figura 10 – Polline di Ambrosia al microscopio ottico, 400 X

La **PALEOPALINOLOGIA** è stato il primo settore di sviluppo dopo la Morfopalinoologia. Consiste nello studio dei pollini fossili, depositatisi nel corso di svariati secoli e conservati in sedimenti di varia natura ed età (ad esempio: sedimenti torbosi). Il suo scopo primario è la ricostruzione della storia della vegetazione e del clima. Fa parte di questo settore l'Archeopalinoologia, che studia i granuli pollinici all'interno degli strati archeologici, per definire l'evoluzione delle interazioni fra uomo e ambiente vegetale e i cambiamenti dell'ecosistema conseguenti alle attività antropiche (disboscamenti, pratiche colturali, introduzione di nuove specie).

L'**ACTUOPALINOLOGIA** studia i pollini attuali nei mezzi più diversi e comprende numerosi sottosettori applicativi.

L'**AEROPALINOLOGIA** studia i pollini aerodiffusi, utilizzando in genere campionatori volumetrici tipo Hirst; ha stretti rapporti con l'Allergologia Clinica. Ma di questa abbiamo già trattato sopra. Si definisce poi come **BRIOPALINOLOGIA** quella disciplina che studia le piogge polliniche attuali per lo più in trappole naturali (cuscinetti muscinali, neve, humus, campioni di superficie, resine, ecc.) (24), con vari scopi, fra cui quello di elaborare dei "modelli" utilizzabili nell'interpretazione delle piogge polliniche del passato (Paleopalinoologia);

Non si può trascurare la **BROMATOPALINOLOGIA** studio dei pollini negli alimenti, e la **MELISSOPALINOLOGIA** (Melittopalinoologia) che studia i pollini nel miele al fine di individuarne l'origine botanica e geografica. Il contenuto in granuli pollinici varia con la

composizione del miele e può subire inquinamenti vari in diversi momenti della lavorazione. E' utilizzata al fine controllare il mercato del miele con prodotti genuini ed esenti da sofisticazioni. Ha collegamenti interdisciplinari con l'Entomologia, Apicoltura.



Figura 11 - Melissopalinoologia

La **FARMACOPALINOLOGIA** si occupa dello studio dei pollini presenti nei farmaci, al fine di verificarne l'origine botanica, geografica e la qualità. Può avere collegamenti con la Botanica farmaceutica, Farmacognosia e con la Medicina Legale;

La **CRIMINOPALINOLOGIA** è indirizzata allo studio dei pollini in reperti collegati a crimini di vario tipo (ad es. ricerca del polline sull'auto coinvolta in un delitto per l'esame pollinico dell'argilla posta sotto i parafranghi oppure sulle vesti di un sequestrato per cercare di rintracciare il luogo di prigionia); è collegata con la Medicina Legale e con varie materie forensi. In alcuni casi il campionatore portatile è stato utilizzato, in corso d'indagini giudiziarie, per individuare siti di coltivazione abusiva di piante da cui si possono estrarre sostanze stupefacenti, come la *Cannabis Indica*.

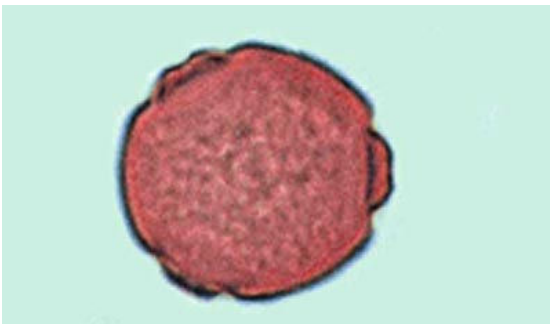


Figura 12 - Polline di Cannabis sativa

La **COPROPALINOLOGIA** attende allo studio dei pollini nelle feci, possibile per la resistenza dell'esina agli enzimi digestivi. Presenta stretti rapporti con la Paleopalinoologia e l'Actuopalinoologia, a seconda se si tratta di coproliti (feci subfossili/fossili) o di deiezioni più recenti. Risulta molto utile per ricostruire la dieta vegetale dell'uomo o di un animale. E' interconnessa con l'Archeopalinoologia ed Etologia.

Si potrebbe anche aggiungere un caso ancor più particolare. La Palinologia applicata alla **SINDOLOGIA** (ovvero allo studio della Sacra Sindone). Ci riferiamo agli studi svolti da Max Frei (25,26) che riferì di aver riscontrato numerosi granuli pollinici trattenuti tra le fibre della Sindone, identificando alcune specie vegetali peculiari del Medio Oriente, a conferma della leggenda del

passaggio della Sindone in Terra Santa. Purtroppo l'impresa di Frei, in un primo tempo enfatizzata, non ha retto ad un'analisi più approfondita da parte di palinologi accreditati, che hanno potuto controllare i vetrini da lui allestiti per questo. Oltre che ha verificare un numero di pollini decisamente inferiore a quelli dichiarati (peraltro quasi tutti anemofili, quindi assai poco volatili) si sono evidenziati vistosi artifici tecnici tanto che questa ricerca è stata catalogata tra le frodi religiose (27,28).

Un altro campo in cui l'Aerobiologia assume importanza è quello dell'**AGRICOLTURA** in quanto si è evidenziato che, per ciascuna specie, esiste una stretta connessione tra produzione annuale di granuli pollinici e produzione di frutti (29). A questo proposito l'aerobiologia può essere utilizzata per una previsione della futura produzione di frutta ed una razionalizzazione del corrispondente commercio, anche ai fini della determinazione dei prezzi di mercato.

Ulteriore disciplina di confine con l'aerobiologia è rappresentata dalla **FITOPATOLOGIA**. In questo ambito il monitoraggio aerobiologico può determinare il tipo ed il numero di spore fitopatogene presenti al fine di monitorare la situazione attuale e di prevenire eventuali epidemie di malattie crittogamiche (ovvero dovute a funghi e a batteri) (30).

Non si può poi trascurare l'importanza crescente che assume oramai lo studio della **BIODIVERSITA'**. Ovvero il monitoraggio aerobiologico può rilevare le variazioni polliniche anno per anno, legato a variazioni climatiche ed ambientali. In questa maniera è possibile effettuare un costante controllo della Biodiversità in un determinato territorio. Un utilizzo particolare di questo tipo potrebbe essere il controllo della diffusione degli Organismi geneticamente modificati. Anche nel campo dell'**INQUINAMENTO ATMOSFERICO** l'aerobiologia svolge un ruolo importante in quanto, nei campioni che si utilizzano attualmente per il monitoraggio di spore e pollini, si possono individuare, al microscopio ottico, sui vetrini preparati per i conteggi, delle zone più dense che sono attribuibili alla deposizione, in particolari ore del giorno, di prevalente particolato inorganico, legato agli scarichi dei motori d'auto, a fenomeni di combustione od ad altri fattori d'inquinamento. Tramite una misurazione densitometrica si possono ricavare informazioni utili su queste forme d'inquinamento (31). Accanto ai campionatori volumetrici si possono impiegare particolari centraline che misurano determinate sostanze inquinanti. Si possono inoltre utilizzare alcuni bioindicatori (animali o vegetali), come i licheni, che possono anche loro fornire utili indicazioni relativamente all'inquinamento atmosferico.

Alle modificazioni climatiche ed ambientali è dedicato uno specifico capitolo quello della **BIOCLIMATOLOGIA**. E' evidente che il monitoraggio pollinico costante possa fornire dati che, correlati ai dati storici, a quelli fenologici ed ai dati meteorologici possono fornire informazioni preziose anche per lo studio delle variazioni climatiche.

Infine anche nella tutela dei **BENI CULTURALI** l'Aerobiologia può svolgere un ruolo non secondario. Può accadere spesso che le spore fungine (o altre forme vegetative) si localizzino sulla superficie di statue o costruzioni all'aperto e, in particolari e favorevoli condizioni ambientali, possono colonizzarle con danno a monumenti e edifici. Le specie più frequenti in questo caso sono *Aspegillus*, *Penicillium*, *Stachibotrys* e *Chaetomium*. Il deterioramento può essere di natura fisica e/o di natura chimica (32). Il monitoraggio aerobiologico di queste spore diviene indispensabile per avere le informazioni necessarie a combattere questi parassiti, sia nella fase di prevenzione sia in quella di restauro.



Figura 13 – Il deterioramento atmosferico, spesso associato a quello zoologico, non risparmia neppure le statue più leggiadre (Abbazia, Croazia).

Tutto quanto sopra esposto ci permette di comprendere come, nella vita quotidiana, siamo tutti esposti ad un abbondante e diversificato aerosol biologico, di cui non abbiamo normalmente consapevolezza, fortemente condizionato da complesse interazioni con la situazione meteorologica e con i cambiamenti ambientali che l'accelerazione della nostra epoca sta vertiginosamente provocando. Queste conoscenze ci devono indurre ad una maggiore attenzione all'ambiente che ci circonda, che non sempre c'è favorevole ad anzi in alcuni casi può essere potenzialmente aggressivo. Scopo dell'Aerobiologia è anche quello di fornire uno strumento di conoscenza di questi problemi.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Warneck P. Chemistry Of The Natural Atmosphere. Academic Press, 2000
- 2) Research Priorities for Airborne Particulate Matter: VI. Early Research Progress . Committee on Research Priorities for Airborne Particulate Matter, National Research Council. Eds National Academies Press 2004
- 3) Gregory P.H. The microbiology of the atmosphere. Leonard Hill, Bucks, England, 1972.
- 4) D'Amato G. Allergia respiratoria da pollini e da miceti. Lombardo Editore, Roma, 1981.
- 5) Gottardini E., Cristofolini F., Bucher E., Nardelli R., Grandini M. Pollini e allergia in Trentino-Alto Adige. Ed. La Commerciale Borgogno, Bolzano 1997
- 6) Monitoraggio Aerobiologico e Pollinosi in Toscana. Arpat. Firenze, giugno 2004.
- 7) Solomon W.R. Airborne pollen: A brief life. J. Allergy Clin. Immunol, 2002; 109; 895-900.
- 8) Knox R.B. Pollen and Allergy. Ed. Edward Arnold, London, 1979.
- 9) Solomon W.R., Platts-Mills T.A. Aerobiology and Inalants Allergens in :Allergy. Principles & Practice. Mosby-Year Book, 1998, pag 367-403
- 10) Erdman G. Pollen grains recovered from the atmosphere over the Atlantic. Hacta Hort. Gothoburg, 1937; 12: 185-96.

- 11) Peeters A.G., Zoller H. Long range transport of *Castanea sativa* pollen. Grana. 1988; 27: 203-207
- 12) Hesselman H. Uber die verbreitungsfahigkeit des waldbaumpollens. Med. Skogsforsoksanst Stockh. 1919, 16,27
- 13) Dyakowka J. The pollen rain on the sea and on the coast of Greenland. Bull. Int. Acad. Cracovie – Ser. B. Sci. Nat. 1948; 1, 25.
- 14) Hafsten U. Pleistocene development of vegetation and climate in Tristan da Cunha ang Gough Island. Arbok Univ. Bergen Mat. Natyr. Ser. N. 20, 1960
- 15) Polunin N. Artic aeropalynology. Spora observed on sticky slides exposed in various regions in 1950. Can. J. Bot. 1955; 33,401
- 16) Frei T. pollen distribution at high elevation in Switzerland: evidence for medium range transport Grana 1997; 36: 34-8.
- 17) Ariano R. Allergia al Polline di Cipresso in Liguria, Abstracts XVII Congr.Naz.Soc.It. Allergol. Immunol. Clin., pag.138, Milano 1985.
- 18) Ariano R., Chiapella M., Augeri G., Falagiani P. "La pollinosi da Cupressaceae" – 18° Congresso della Società Italiana di Allergologia ed Immunologia Clinica, Firenze, 8- 12 Dicembre 1987 - Abstracts pag.29.
- 19) Ariano R. Allergia respiratoria al polline di Cupressaceae." Folia Allergol. Immunol. Clin., 35, 275-284, 1988.
- 20) Panzani R., Zerboni R., Ariano R., Allergenic significance of Cupressaceae Pollen in some parts of the Mediterranean area" in :D'Amato G., Spieksma F.Th., Bonini S.(Eds), "Allergenic pollen and pollinosis in Europe". Blackwell Sc. Pubbl.,Oxford,1991,p.81-84.
- 21) Winther L., Malling H.J., Winther L., Mosbech L. Allergen- specific immunotherapy in birch-and grass-pollen-allergic rhinitis. I. Efficacy estimated by a model reducing the bias of annual differences in pollen counts. Allergy, 2000; 55:818-826.
- 22) Hyde, H. A., and Williams, D. A. The right word. Pollen and Spore Circular, 1944; 8:6.
- 23) Erdtman G. Handbook of Palynology. Munksgaard, 1969 Copenhagen.
- 24) Mincigrucci G., Iannotti O. I pollini come bioindicatori della qualità dell'aria dell'adattamento. Aria Ambiente & Salute, 199, anno 2, n.1
- 25) Frei M. Wissenschaftliche Probleme um das Grabtuch von Turin. Naturwissenschaftliche Rundchu, 1979; 32, 133-135
- 26) Frei M. Nine Years of Palynological Studies on the Shroud. Shroud Spectrum International. 1982;1:3-7
- 27) Schafersman S. Letter to Editor. Microscope. 1982, 30: 344-352.
- 28) Nickell J. Pollen on the "Shroud": A study in deception. Skeptical Inquirer. 1994, 18: 379-385
- 29) Arobba D., Brescianini C., Minale P. et al., Monitoraggio del particolato e rilevazioni indirette sull'inquinamento atmosferico tramite spore trap volumetrico. Atti del VI Congr. A.I.A., Perugia, 1994.
- 30) Romano B. Aerobiologia e Agricoltura. Atti del VII Congr. dell'A.I.A.. Firenze 1996, p.58
- 31) Bugiani R., Govoni P. The integrate warning Service for the prediction of tomato late bright in Emilia Romagna region: 5 years experience. In: "Phytophthora infestans 150" Ed. L.J. Dowley, E.Bannon, L.R.Cooke, T.Keane &EO'Sullivan 1995, p.359
- 32) Ministero per i Beni e le Attività Culturali. DL 112/1998. Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei.