

15 - QUALITA' DELL'ARIA NELLO SPAZIO CONFINATO

15 - 1 Composizione l'aria

La composizione dell'aria nell'ambiente esterno in assenza di sorgenti inquinanti, è praticamente costante per quanto riguarda i seguenti componenti:

N_2	O_2	CO_2	Ar	Ne	He	Kr	Xe	CH_4
%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
78.084	20.948	0.0314	0.934	19	5,24	1,14	0,087	1,5

Alle precedenti sostanze bisogna aggiungere il vapore d'acqua che presente in quantità assai variabile.

In particolari condizioni, la composizione dell'aria può essere alterata dalla presenza di sostanze diverse, che vengono chiamate comunemente ***inquinanti*** oppure ***contaminanti***.

15.2 - Inquinanti nell'aria esterna

Nell'aria esterna gli inquinanti presenti nelle aree urbane o industriali sono purtroppo molti, i principali sono:

- ossidi di azoto NO_x ,
- ossidi di zolfo SO_x ,
- ossidi di carbonio CO_x ,
- composti organici volatili VOC,
- particolato sospeso totale PST,

Cause principali sono:

- i processi di combustione
- il traffico automobilistico

15.3 - Inquinanti dell'aria negli ambienti confinati

Gli inquinanti presenti nell'aria interna possono essere divisi in:

- gas e vapori (NO_x, SO_x, CO, CO₂, VOC, radon, ozono);
- microorganismi (muffe, batteri, spore, funghi);
- particolato (fumo di tabacco, polvere, fibre, etc.);

Questi inquinanti possono essere emessi da:

- persone stesse per effetto di metabolismo e fumo di tabacco
- apparecchiature da ufficio
- cottura dei cibi
- apparecchi a combustione
- prodotti per la pulizia
- materiali ed arredi edilizi
- impianti stessi di condizionamento e ventilazione

15.4 - Effetti sulle persone:

- sollecitazioni fisiologiche e psicologiche a livello sensoriale (odori) che possono anche portare ai seguenti sintomi: mal di testa, irritazioni agli occhi, alla gola, nausea, affaticamento.
- effetti biologici a carico di organi diversi che si manifestano come irritazioni, reazioni allergiche,
- effetti mutageni e cancerogeni.

Altri effetti:

danni ai materiali edilizi e agli arredi.

In generale le sostanze inquinanti possono provocare sul corpo umano tre categorie di conseguenze:

- **fastidio** (effetti non graditi come i cattivi odori),
- **irritazione** (effetti reversibili come l'arrossamento degli occhi)
- **danno** (effetti non reversibili come le malattie della pelle o alle vie respiratorie).

15. 5- Attualità del problema IAQ (Indoor Air Quality)

- *Il tempo trascorso all'interno di ambienti confinati raggiunge ormai il 90% del totale*
- *Cresce l'inquinamento dell'aria esterna e con esso quello dell'aria interna*
- *Si impiegano materiali nuovi nella costruzione e soprattutto nella rifinitura dell'edificio, per gli arredi e per le apparecchiature (fotocopiatrici, stampanti, etc.) che emettono inquinanti.*
- *Si diffondono sempre più soprattutto negli edifici commerciali e direzionali, gli impianti di condizionamento, la cui cattiva manutenzione è una concausa del sempre più diffuso problema definito come "Sick Building Syndrome".*
- *Vengono impiegati soprattutto in Italia serramenti di qualità sempre migliore che riducono il ricambio naturale dell'aria.*

15.6 - Qualità dell'aria negli ambienti confinati (IAQ)

E' intuitivo affermare che:

***Maggiore è la quantità di inquinanti
peggiore è la qualità dell'aria.***

Tuttavia non è facile fornire una definizione rigorosa di Qualità dell'aria poiché il numero delle sostanze inquinanti è molto grande e gli effetti che esse producono sull'organismo umano sono molto diversi sia per entità sia per il tipo.

Le concentrazioni negli spazi confinati più comuni (residenze, attività commerciali, luoghi di lavoro e di svago) sono generalmente molto basse ma unite a tempi di esposizione elevati. Tale condizione rende molto difficile eseguire prove sperimentali e di conseguenza indicare esattamente la soglia di accettabilità per ogni inquinante.

In tutti i casi l'entità del rischio che ogni inquinante presenta per la salute dipende dalla dose respirata cioè dal valore cumulato nel tempo del prodotto (concentrazione x volume di aria respirata). Ancora più decisiva sarebbe la conoscenza della dose biologica accumulata nei tessuti e negli organi che sono oggetto dell'azione nociva del contaminante.

D'altra parte anche quando le concentrazioni di inquinanti siano tollerabili, cioè non siano tali da nuocere alla salute (neppure su tempi lunghi), non è detto che l'aria venga percepita in modo soddisfacente dagli occupanti. Ciò accade perché le nostre sensazioni olfattive rendono possibile il riconoscimento di molte sostanze (gradevoli, sgradevoli, pericolose, innocue) già a concentrazioni molto basse.

Nel caso delle sostanze potenzialmente dannose generalmente il riconoscimento avviene a concentrazioni molto inferiori (più di 100 volte) rispetto al livello di pericolo; una eccezione importante è costituita da CO e radon che sono molto pericolosi ma del tutto privi di odore.

L'ASHRAE per tenere in conto sia degli aspetti relativi alla nocività, sia degli aspetti connessi alla percezione, ha dato una **definizione** che comprende sia elementi oggettivi (le concentrazioni di eventuali inquinanti) che soggettivi (il grado di insoddisfazione).

:

La qualità dell'aria in uno spazio confinato è accettabile quando in essa non sono presenti inquinanti in concentrazioni dannose, secondo quanto stabilito dalle autorità sanitarie, e quando una notevole percentuale di persone non esprime insoddisfazione verso di essa.

La definizione è basata su due criteri di giudizio:

- ***Il primo criterio, che riguarda il rischio sanitario causato dall'esposizione continuata ad un ambiente insalubre, è più facilmente definibile oggettivamente sulla base di studi epidemiologici (seppure scarsi per ambienti civili).***
- ***Per definire il rischio sanitario sono stati individuati sperimentalmente (Tab. 15.1) i valori limite di concentrazione per i diversi inquinanti (Tab. tratta da "Fisica Tecnica Ambientale", Vol. 3°- di G. Moncada Lo Giudice e L. De Santoli, Casa Editrice Ambrosiana)***

Inquinante	IDLH (mg/m ³)	AMP (mg/m ³)	ACC (mg/m ³)	TWAB (mg/m ³)	soglia olfattiva (mg/m ³)	punto eboll. (°C)	massa molec. (kg/kmol)
acetaldeide	18000			360	1,2	21	44
acetone	4800		3200	2400	47	56	58
ammoniaca	350		35	38	33	-33	17
benzene	10000		25	5	15	80	78
cloruro di benzile	50			5	0,2	179	127
2-butanone	8850			590	30	79	72
biossido di carbonio	90000		54000	9000	0	-78	44
monossido di carbonio	1650		220	55	0	-192	28
bisolfuro di carbonio	1500	300	90	60	0,6	46	76
tetracloruro di carbonio	1800	1200	150	60	130	77	154
cloro	75		1,5	3	0,007	-34	71
cloroformio	4800		9,6	240	1,5	124	119
diclorofluoro metano	250000			4950	5400	-30	121
dibromuro di etilene	3110	271	233	155		131	188
dicloruro di etilene	4100	818	410	205	25	84	99
ossido di etilene	1400		135	90	196	10	44
formaldeide	124	12	6	4	1,2	97	30
n-eptano	17000			2000	2,4	98	100
cloruro di idrogeno	140		7	7	12	-121	37
fluoruro di idrogeno	13		5	2	2,7	19	20
zolfo di idrogeno	420	70	28	30	0,007	-60	34
mercurio	28			0,1	0	357	201
metano						-164	16
metanolo	32500			260	130	64	32
cloruro di metile	59500		1783	1189	595	74	133
cloruro di metilene	7500		3480	1740	750	40	85
acido nitrico	250			5		84	63
ossido di azoto	120	45		30	>0	-152	30
biossido di azoto	90		1,8	9	51		2

Inquinante	IDLH (mg/m ³)	AMP (mg/m ³)	ACC (mg/m ³)	TWAB (mg/m ³)	soglia olfattiva (mg/m ³)	punto eboll. (°C)	massa molec. (kg/kmol)
ozono	20			2	0,2	-112	48
fenolo	380		60	19	0,18	182	94
propano	36000				1800	-42	44
biossido di zolfo	260			13	1,2	-10	64
acido solforico	80			1	1	270	98
tetracloroetano	1050			35	24	146	108
tetracloroetilene	3430	2060	1372	686	140	121	166
toluene	7600	1900	1140	760	8	111	92
toluene disocianato	70		0,14	0,14	15	251	174
1,1,1 tricloroetano	2250			45	1,1	113	133
tricloroetilene	5410	1620	1080	541	120	87	131
cloruro di vinile			0,014	0,003	1400	-14	63
xilene	43500		870	435	2	137	106

IDLH = valore immediatamente pericoloso per la salute e la vita;

AMP = picco massimo accettabile per breve esposizione;

ACC = concentrazione massima accettabile nell'arco di otto ore;

TWAB = media ponderata nel tempo da non superare in qualsiasi intervallo di otto ore o in 40 ore a settimana.

Tab. 1.14 Caratteristiche dei contaminanti gassosi interni più importanti (ASHRAE Applications, 1991).

*Il **secondo criterio** di giudizio è legato al benessere psicofisico.; infatti la **percezione olfattiva** può rendere l'aria più o meno gradevole pur senza implicazioni di carattere sanitario.*

- *Per caratterizzare le sorgenti inquinanti (cause) ed il livello di inquinamento percepito (effetto) sono stati condotti studi sperimentali da vari ricercatori tra cui il prof. Fanger che ha proposto una metodologia per la valutazione del livello di inquinamento e della corrispondente percentuale di insoddisfatti (bibl. : "Olf e decipol" di P.O. Fanger in Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento, Refrigerazione, n. 4/1988, p. 533-537)*

15.7 - Le unità olf e decipol

Gli esseri umani percepiscono l'aria attraverso il senso dell'olfatto ed in modo chimico, essendo sensibili alle sostanze odoranti ed irritanti che si trovano nell'aria.

In molti uffici, scuole, abitazioni ed altri ambienti residenziali, l'aria viene spesso percepita come sgradevole, viziata, soffocante. Tuttavia in molti casi l'analisi chimica dell'aria, non permette di individuare, le cause oggettive di queste sensazioni spiacevoli.

Sono state quindi adottate due nuove unità, l'olf ed il decipol, per poter quantificare la qualità dell'aria percepita dagli esseri umani in base al loro impatto sull'olfatto delle persone ovvero il disturbo percepito.

L'**olf** è una grandezza che esprime la capacità inquinante di una sorgente prendendo come riferimento (unità) l'uomo.

Il **decipol** è una grandezza che esprime l'effetto dell'inquinamento dell'aria percepito dal naso statisticamente "normale" prendendo come riferimento un locale con una sorgente unitaria (1 olf) ed una ventilazione prefissata.

L'unità olf

Un olf (dal latino "olfactus") è il tasso, G, di sostanze inquinanti dell'aria (bioeffluenti) emesso da una persona "normale"; più precisamente l'inquinamento dell'aria provocato da un adulto che svolge un'attività sedentaria (pari ad 1 met) in un ufficio od in un locale simile (non industriale) in condizioni di benessere termico e con uno standard igienico equivalente a 0,7 bagni/giorno.

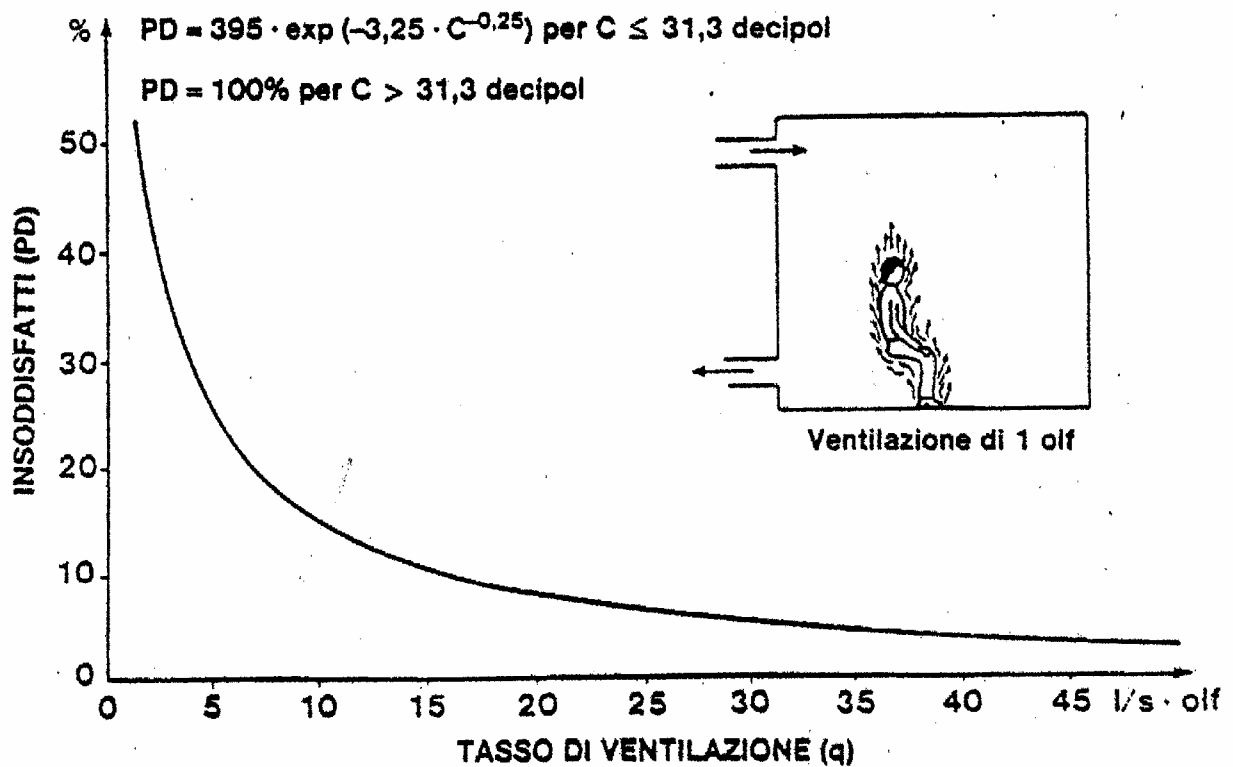
Ogni altra sorgente di inquinamento viene espressa con un numero pari a quello delle persone normali che occorrono per causare la stessa insoddisfazione di quella originata dalla sorgente di inquinamento da valutare.

È stato scelto come unità di inquinamento quello causato da un essere umano, perché si tratta di una forma più diffusa negli ambienti confinati non industriali. Dai tempi di Pettenkofer (1958) e Yaglou (1936), l'essere umano è stato considerato come la principale sorgente di inquinamento negli uffici, nelle sale di riunione, ed in tutti gli edifici civili in genere, pertanto sono disponibili numerosi dati su come i bioeffluenti vengono percepiti dagli altri esseri umani.

La tabella 15.2 riporta la misura in [olf] di alcune sorgenti comuni d'inquinamento. Nella letteratura specializzata sull'argomento sono disponibili i valori tipici per i materiali da costruzione e per altre fonti di inquinamento.

Tab. 15.2 Sorgenti di inquinamento

sorgente	capacità inquinante [olf]
Persona seduta, 1 met	1
Persona in movimento, 4 met	5
Persona in movimento, 6 met	11
Fumatore, mentre fuma	25
Fumatore, media temporale	6
Materiali per ufficio	0,5 olf/ m ² _{pav}



La concentrazione ζ delle sostanze inquinanti nell'aria dipende dalla sorgente di inquinamento e dalla diluizione causata dalla ventilazione.

La curva di fig. 15.1 indica come l'aria inquinata da una persona normale (1 olf) viene percepita in presenza di diversi tassi di ventilazione.

Il grafico riporta la percentuale di persone insoddisfatte, ossia di quelle che trovano l'aria inaccettabile non appena entrano nel locale.

La curva è stata ricavata, in base ai bioeffluenti di oltre un migliaio di soggetti, da un gruppo di lavoro composto da 168 persone di entrambi i sessi.

Su questo criterio sono basate oggi, in tutto il mondo, le norme riguardanti la ventilazione, che esprimono i requisiti di ventilazione di un locale in termini di quantità di aria da fornire per ogni occupante.

L'unità decipol

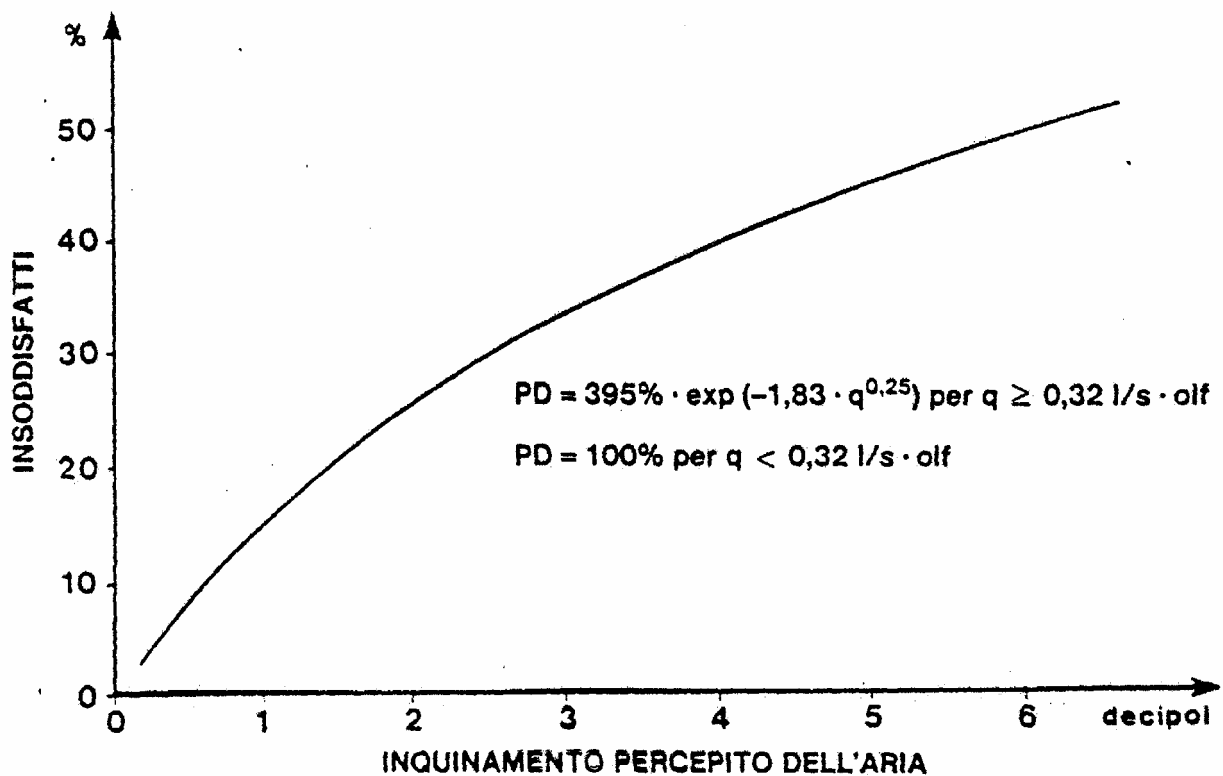
Con l'espressione *inquinamento dell'aria percepito* si definisce quella concentrazione di bioeffluenti umani che provocherebbe lo stesso disagio causato

dall'inquinamento effettivo dell'aria

Un decipol (pol dal latino "pollutio") è l'inquinamento causato da una persona normale (1 olf) soggetta ad una ventilazione pari a 10 l/s di aria non inquinata, ossia:

$$\zeta [\text{decipol}] = \frac{G[\text{olf}]}{\dot{V}[\text{l/s}]}$$

La figura 15.2 mostra la percentuale di persone insoddisfatte in funzione dell'inquinamento dell'aria da esse percepito, in decipol.



In molti edifici ben ventilati, con limitate sorgenti di inquinamento (edifici salubri), l'inquinamento percepito dell'aria è inferiore ad un decipol, che corrisponde al 15% di persone insoddisfatte.

I locali con scarsa ventilazione e forti sorgenti di inquinamento (edifici insalubri) possono facilmente avere un inquinamento percepito dell'aria di circa 10 decipol, pari al 60% di persone insoddisfatte.

Negli ambienti chiusi è difficile riscontrare qualità d'aria corrispondente a 0,1 decipol, ossia 1 % di persone insoddisfatte.

La figura 15.3 mostra la scala decipol ed indica i livelli tipici della qualità percepita dell'aria.

10	1	0,1	0,01
Edifici insalubri	Edifici salubri	Aria esterna città	Aria esterna montagna

Fig. 15.3 – Esempi tipici.

1 5.8 - Le norme italiane

Le norme italiane sono di due tipi :

- **legislative**, di tipo prescrittivo, valide per le applicazioni di interesse generale: la residenza, i luoghi di lavoro, i locali pubblici, le scuole, gli ospedali;
- **tecniche**, regole dell'arte applicabili valide per tutte le applicazioni ai fini contrattuali.

Nelle norme sia tecniche che legislative si introducono, regole per la filtrazione e per la ventilazione. La portata di quest'ultima viene fissata mediante il tasso di rinnovo o di ricambio dell'aria, definito con uno dei seguenti parametri:

- **n [1/h]** che rappresenta la frequenza con cui il volume d'aria di un ambiente viene ricambiato
- **Vp [m³/(h·p)]** la portata di ventilazione da introdurre (ed estrarre) dal locale per ogni persona presente.
- Il primo parametro si applica quando non è noto a priori il numero degli occupanti ed il secondo nel caso contrario, come le sale dotate di posti fissi a sedere.

Norma UNI 10399	la	Vp	Vp	H	n
	[p/m ²]	[l/(s·p)]	[m ³ /(h·p)]	[m]	[h ⁻¹]
Abitazioni					
Soggiorno-letto	0,04	11	39,6	2,7	0,6
Alberghi					
Ingresso-soggiorno	0,20	11	39,6	3,5	2,3
Conferenze	0,60	5,5	19,8	3,5	3,4
Pranzo	0,4	10	36,0	3	4,8
Letto	0,05	11	39,6	3	0,7
Uffici					
Singoli	0,06	11	39,6	3	0,8
Open Space	0,12	11	39,6	3	1,6
Riunione	0,60	10	36,0	3	7,2
CED	0,08	7	25,2	3	0,7
Ricreative					
Sala cinema	1,5	5,5	19,8	7	4,2
Biglietteria	0,2	5,5	19,8	3	1,3
Palcoscenico, studio TV	0,1	12,5	45,0	7	0,6
Musei, mostre	0,3	6	21,6	5	1,3
Sala lettura biblioteche	0,3	5,5	19,8	3,5	1,7
Chiese	0,8	6	21,6	12	1,4
Bar	0,8	11	39,6	3,5	9,1
Ristorante-Pranzo	0,6	10	36,0	3,5	6,2
Sala da ballo	1	16,5	59,4	4	14,9
Scuole					
Nido-materna	0,40	4	14,4	3,0	1,9
Elementari, medie	0,45	5	18,0	3,3	2,5
Superiori	0,45	7	25,2	3,5	3,2
Università	0,60	7	25,2	4,0	3,8
Musica-lingue	0,50	7	25,2	3,5	3,6
Laboratori	0,30	7	25,2	3,5	2,2
Docenti	0,30	6	21,6	3,3	2,0
Biblioteche, S.lettura	0,30	6	21,6	3,3	2,0

I valori di **n** dipendono dalle altezze riportate in quinta colonna che sono valori medi.

15.9 - Interventi per il miglioramento dell'IAQ

- **Controllo delle sorgenti di inquinanti**

- Limitazione o divieto di impiego di materiali che possono rilasciare inquinanti per qualità o quantità non tollerabili;
- realizzazione di “barriere” che permettano di isolare la fonte di inquinamento
- impiego di biocidi ovvero sostanze sterilizanti che evitano la proliferazione dei micro-organismi

- **Filtrazione e abbattimento** delle sostanze gassose inquinanti (cappe con filtro)

- **Ventilazione con aria di rinnovo** al fine di:

- **diluire gli inquinanti:**
 - **sistemi a miscelazione**
- **rimuovere gli inquinanti** nel modo più efficace possibile:
 - **sistemi a dislocazione** (dal basso verso l'alto a bassa velocità per favorire la stratificazione di sostanze gassose più leggere dell'aria)
 - **cappe di aspirazione** (captazione di sostanze emesse da fonti fisse)
 - **sistemi con moto a pistone** (dall'alto verso il basso con velocità fino a 0,5 m/s per trasporto di particelle e sostanze gassose più pesanti dell'aria)