

VENTILAZIONE E DEPURAZIONE DELL'ARIA NEGLI AMBIENTI DI LAVORO

Scheda tecnica n. 1

IL RICIRCOLO DELL'ARIA

A cura di:

Arcari Claudio

Govoni Celsino

Nicolini Omar

Renna Emilio

Sala Orietta

Tolomei Stefano Radames

Veronesi Carlo

Arpa Sezione di Reggio Emilia

S.P.S.A.L. Azienda U.S.L. di Modena

S.P.S.A.L. Azienda U.S.L. di Modena

Arpa Sezione di Reggio Emilia

Arpa Sezione di Reggio Emilia

S.P.S.A.L. Azienda U.S.L. di Parma

S.P.S.A.L. Azienda U.S.L. di Reggio Emilia

Maggio 1991

1. PREMESSA

- 1.1. L'espulsione dell'aria all'esterno comporta una spesa energetica per il riscaldamento dell'aria di reintegro: anche con l'eventuale recuperatore di calore, posto prima dell'espulsione, non si ottiene il totale recupero dell'energia. Il ricircolo dell'aria invece consente un'economia dei costi di riscaldamento

A fronte di ciò si determina un aumento rischio per la salute di chi lavora in quegli ambienti, principalmente in relazione all'arricchimento in concentrazione degli inquinanti ed al mancato rinnovo dell'aria.

- 1.2. Questo documento stabilisce alcuni criteri per l'ammissibilità di un impianto di ricircolo dell'aria ed i requisiti che esso deve possedere per salvaguardare la salute dei lavoratori; esso ha lo scopo di servire da riferimento per coloro che si occupano del controllo dell'inquinamento dell'aria negli ambienti di lavoro.

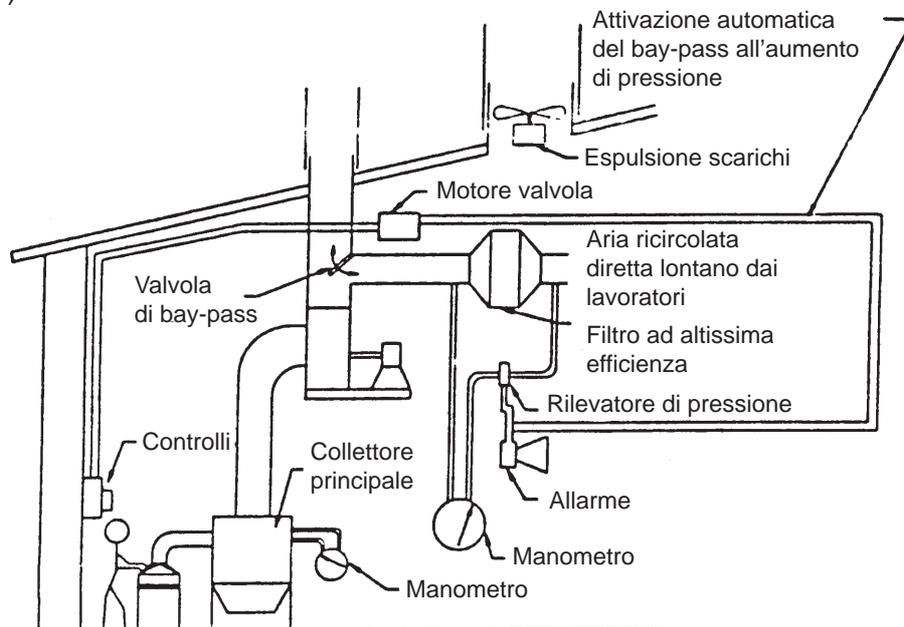
- 1.3. Le indicazioni presentate sono suscettibili di evoluzioni in base alle esperienze acquisite o alle future modifiche apportate alla normativa vigente.

Esse analizzano i processi di risanamento dell'aria unicamente nei locali di lavoro (esclusi quelli del terziario) e sono derivate dalla interpretazione della normativa attualmente vigente (DPR n. 303/56) e dalla elaborazione di note tecniche bibliografiche.

- 1.4. Questo documento si occupa solo dei processi di risanamento dell'aria in impianti di ricircolo, intendendo che gli impianti di captazione degli inquinanti siano progettati e costruiti secondo la migliore tecnologia disponibile, per la quale si rimanda ai testi specializzati.

2. VENTILAZIONE E DEPURAZIONE DELL'ARIA NEGLI AMBIENTI DI LAVORO. DEFINIZIONI.

Esempio di uno schema impianto di ricircolo con i relativi dispositivi di depurazione (per particolati):



2.1. Ventilazione generale.

Estrazione e/o immissione dell'aria da o in un ambiente confinato avente lo scopo di ridurre, per diluizione, la concentrazione degli inquinanti presenti.

2.2. Aspirazione localizzata.

Captazione degli inquinanti alla sorgente e loro allontanamento prima che si diffondano nell'ambiente di lavoro.

La reimmissione dell'aria necessaria, in entrambi i casi sopra detti, può essere naturale o forzata (mediante ventilatori).

2.3. Espulsione dell'aria.

Convogliamento dell'aria inquinata all'esterno che può essere accompagnato o meno da un recupero di energia e/o da una sua depurazione nel rispetto delle normative vigenti.

2.4. Ricircolo dell'aria.

Captazione e reimmissione nell'ambiente confinato di aria all'origine inquinata, previo appropriato trattamento di depurazione.

Il ricircolo è totale se tutta l'aria inquinata captata dagli impianti di aspirazione viene reimpressa nell'ambiente di lavoro; è parziale se una parte di essa viene espulsa all'esterno in atmosfera.

2.5. Impianto di depurazione centralizzato.

Impianto fisso ove vengono convogliati e trattiene gli inquinanti rilasciati da sorgenti in posizione in genere fissa o almeno prevedibile.

2.6. Impianto di depurazione mobile.

Impianto di captazione e depurazione degli inquinanti rilasciati da sorgenti in posizione imprevedibile e che per loro configurazione sono vincolati a ricircolare l'aria. Tali impianti in genere sono di piccole dimensioni.

3. NORME DI LEGGE.

Sull'ammissibilità o meno del ricircolo dell'aria negli ambienti di lavoro, la normativa nazionale di riferimento (DPR n. 303/56) non si esprime compiutamente.

3.1. Art. 20 DPR n. 303/56 - Difesa dell'aria dagli inquinanti con prodotti nocivi.

“Nei lavori in cui si svolgono gas o vapori irrespirabili o tossici od infiammabili, ed in quelli nei quali si sviluppano normalmente odori o fumi di qualunque specie, il datore di lavoro deve adottare provvedimenti atti ad impedirne o a ridurne, per quanto possibile, lo sviluppo e la diffusione. L'aspirazione dei gas, vapori, odori o fumi deve farsi, per quanto è possibile, immediatamente vicino al luogo dove si producono.”

3.2. Art. 21 DPR n. 303/56 - Difesa contro le polveri.

“Nei lavori che danno luogo normalmente alla formazione di polveri di qualunque specie, il datore di lavoro è tenuto ad adottare i provvedimenti atti ad impedirne o a ridurne, per quanto è possibile, lo sviluppo e la diffusione nell'ambiente di lavoro.

Le misure da adottare a tal fine devono tenere conto della misura delle polveri e della loro concentrazione nella atmosfera.

Qualunque sia il sistema adottato per la raccolta e la eliminazione delle polveri, il datore di lavoro è tenuto ad impedire che esse possano rientrare nell'ambiente di lavoro ...”

4. CONDIZIONI NECESSARIE PER L'AMMISSIBILITA' DI UN IMPIANTO DI RICIRCOLO.

Per ambienti industriali il ricircolo può essere ammissibile solo per limitati e selezionati processi o lavorazioni.

La decisione di ammissibilità di un impianto di ricircolo deve essere successiva all'applicazione degli schemi decisionali A (PRIMA DECISIONE), B (PROGETTAZIONE E PREVISIONE), C (VALUTAZIONE DEL SISTEMA), ed alla verifica del rispetto delle seguenti condizioni:

- 4.1. Tutte le sorgenti inquinanti devono essere individuate e controllate mediante impianti di aspirazione.
- 4.2. Gli inquinanti che si sviluppano nel processo o nella lavorazione devono essere identificati.
- 4.3. Devono essere conosciuti i “livelli di sicurezza” e le caratteristiche tossicologiche per ciascun inquinante (compresi quelli minori) e per la miscela.
- 4.4. Gli inquinanti devono essere classificati come relativamente “poco tossici” (*).
- 4.5. Deve esistere e deve essere applicata la migliore tecnologia disponibile per abbattere efficacemente ciascun inquinante e/o la miscela degli inquinanti presenti (**).
- 4.6. Deve essere possibile effettuare la misura diretta o indiretta della concentrazione in aria degli inquinanti sviluppati nel processo o nella lavorazione.
- 4.7. Devono essere presenti dispositivi di allarme ottici e/o acustici che segnalino i guasti all'impianto di depurazione fisso o mobile nonché la necessità di provvedere a manutenzione.
- 4.8. Deve essere presente, negli impianti di depurazione fissi, un by-pass per l'espulsione dell'aria in atmosfera, preferibilmente automatico, che entri in funzione o che possa essere azionato manualmente, al momento della segnalazione del guasto.

4.9. In caso di guasto dell'impianto di depurazione mobile deve essere fermata l'operazione che origina gli inquinanti per il tempo necessario per la manutenzione dell'impianto oppure deve essere presente un altro impianto mobile di riserva da utilizzare al posto di quello guasto.

(*) Orientativamente e con le opportune cautele possono essere utilizzati i criteri previsti per stabilire i valori limite di soglia ACGIH.

Classe di tossicità	Range TLV, ppm
Poco tossico	≥ 500
Moderatamente tossico	$100 \div 500$
Molto tossico	≤ 100

(**) Non sempre la migliore tecnologia disponibile è capace di abbattere efficacemente gli inquinanti presenti.

4.10. Nell'ambiente di lavoro in cui sia presente un impianto di ricircolo dell'aria deve essere affisso un avviso con la seguente dicitura:

ATTENZIONE

Nel locale è funzionante un impianto di ricircolo dell'aria con depurazione delle sostanze inquinanti. Segnali ed allarmi indicano cattivo funzionamento dell'impianto ed occorre prendere le seguenti misure: **INTERRUZIONE DEL RICIRCOLO, ESPULSIONE DELL'ARIA ALL'ESTERNO O INTERRUZIONE DEL PROCESSO INQUINANTE.**

4.11. Deve essere assicurata una costante e rigorosa manutenzione dell'impianto di ricircolo.

4.12. Con gli impianti di depurazione fissi si può effettuare solo un ricircolo parziale dell'aria; infatti deve essere sempre garantita l'immissione di una portata di aria nuova esterna (Q_e) secondo i criteri della ventilazione generale (1) (2).

Indicativamente si potrebbe assumere una portata minima di aria nuova pari alla maggiore delle due seguenti:

$Q_e = 3 \text{ m}^3/\text{h}$ per m^2 di superficie del locale;

$Q_e = 150 \text{ m}^3/\text{h}$ per lavoratore presente.

4.13. Gli impianti di depurazione mobili con ricircolo dell'aria sono ammissibili nel caso di sorgenti di inquinamento non prevedibili o in posizioni particolarmente disagiati dove non è possibile il collegamento con impianti di depurazione fissi.

5. DIVIETI AL RICIRCOLO DELL'ARIA.

- 5.1. Il ricircolo non è mai ammesso quando nell'aria inquinata sono presenti sostanze cancerogene o sospette cancerogene o allergizzanti per le quali non sono configurabili livelli di soglia.
- 5.2. Il ricircolo dell'aria in impianti fissi non è mai ammesso al di fuori dei periodi di riscaldamento o di climatizzazione del locale, in quanto il ricircolo trova la sua ragione d'essere nell'economia derivante da una minore necessità di riscaldamento durante la stagione fredda.

6. REGOLE GENERALI PER LA PROGETTAZIONE E LA MANUTENZIONE DI UN IMPIANTO DI RICIRCOLO.

- 6.1. L'impianto di ventilazione con depurazione centralizzata e ricircolo deve sempre prevedere l'espulsione all'esterno di una percentuale di aria (4.12) e deve associare al ricircolo un minimo di apporto d'aria dall'esterno per limitare l'aumento della concentrazione in particelle "ultrafini" o di prodotti poco trattenuti dall'impianto di depurazione.
- 6.2. Nell'impianto centralizzato deve essere sempre ed in qualsiasi momento possibile l'esclusione del ricircolo e quindi l'espulsione all'esterno dell'aria inquinata (4.8).
- 6.3. I criteri di depurazione dell'aria, quando sia previsto il ricircolo, devono essere quelli più rigorosi previsti dalla migliore tecnologia disponibile.
- 6.4. La quantità dell'aria di ricircolo non dovrà essere considerata nel calcolo della quantità di aria esterna da immettere nel locale.
- 6.5. Le bocchette di immissione dell'aria devono essere conformate e posizionate in modo da non creare correnti d'aria che influenzino le velocità di cattura delle cappe di aspirazione localizzata o siano fastidiose per i lavoratori.
- 6.6. L'aria estratta nei periodi in cui non viene utilizzato il ricircolo dovrebbe essere convenientemente depurata ed in ogni caso deve essere sempre conforme a quanto stabilito dalla normativa nazionale e locale vigente relativa all'inquinamento atmosferico.
- 6.7. Deve essere previsto un libretto dell'impianto di ricircolo e depurazione, a disposizione degli Enti di controllo e degli incaricati della igiene e sicurezza, su cui annotare:
 - descrizione dell'impianto;
 - caratteristiche generali di progetto dell'impianto (portate, pressioni statiche, velocità caratteristiche in alcuni punti, ecc.);
 - risultati dei controlli effettuati dopo la messa in servizio e dopo modifiche;
 - piano di controllo e manutenzione;
 - risultati dei controlli periodici;
 - manutenzioni ordinarie e straordinarie;
 - eventuali modifiche all'impianto intervenute nel tempo;
 - misure da prendere in caso di guasto (interruzione del ricircolo ed espulsione diretta, interruzione della produzione di inquinanti, misure di salvaguardia fino alla evacuazione dei locali).

7. SISTEMA DI CONTROLLO DELLE CONCENTRAZIONI SULL'IMPIANTO DI RICIRCOLO.

- 7.1. L'impianto di ricircolo dell'aria deve essere munito di un sistema di controllo delle concentrazioni diretto o indiretto che provveda ad un segnale di allarme acustico o ottico che avverta della necessità di interrompere il ricircolo dell'aria e di riparare il sistema (o di avviare la manutenzione).
- 7.2. I sistemi di controllo delle concentrazioni possono essere:
- 7.2.1. Diretti: danno un controllo diretto della misura delle concentrazioni degli inquinanti in uscita dal sistema di depurazione.
- 7.2.2. Indiretti: danno un controllo indiretto della misura della concentrazione in uscita dal sistema di depurazione attraverso la rilevazione del cattivo funzionamento dello stesso mediante il controllo di parametri caratteristici del principio di funzionamento del dispositivo adottato.
- 7.3. Il sistema di controllo delle concentrazioni deve garantire un tempo di risposta che permetta l'attivazione delle procedure previste senza provocare danno alcuno alle persone.
- 7.4. Il sistema di allarme deve preferibilmente interrompere automaticamente il ricircolo e passare all'espulsione diretta all'esterno (4.8).

8. VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE.

- 8.1. Definita una concentrazione limite di sicurezza (C_{sic}) e una concentrazione limite standard (C_{std}) igienistica o di sicurezza, sarà:

$$C_{sic} = \frac{C_{std}}{n} \quad (8.1)$$

ove n è un coefficiente di sicurezza sempre ≥ 2 .

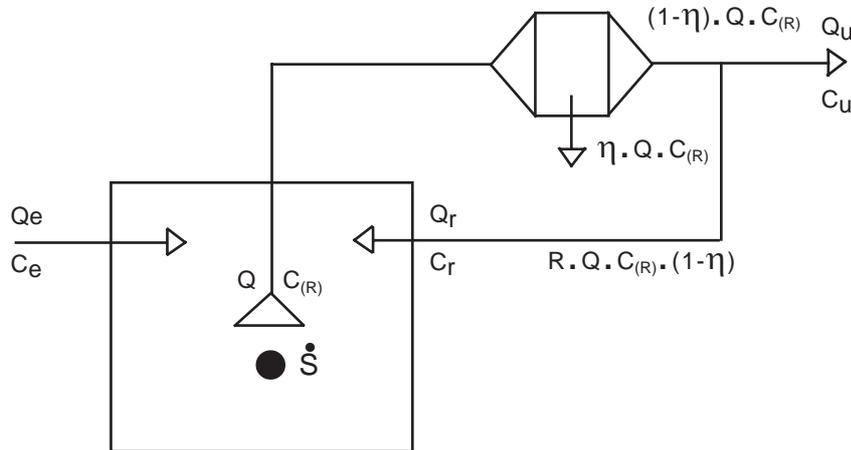
Il coefficiente n sarà fissato in funzione delle:

- tossicità/pericolosità degli inquinanti;
- caratteristiche dell'impianto di ventilazione;
- fluttuazioni delle concentrazioni in ambiente in relazione al tempo di risposta della strumentazione. Il valore di n deve essere fissato solo in base a considerazioni tecnico-scientifiche e non economiche.

- 8.2. In ogni caso il giudizio finale di un impianto con ricircolo d'aria depurata va dato dopo aver effettuato una indagine igienistica con campionamenti personali che determini il livello di esposizione dei lavoratori; quest'ultimo dovrà risultare inferiore alla concentrazione limite di sicurezza (C_{sic}) stabilita in 8.1.

9. PORTATA DI RICIRCOLO CONSENTITA

Per calcolare il ricircolo massimo ammissibile si procede a realizzare un bilancio di massa per l'inquinante, considerando il sistema qui schematizzato.



dove:

- Q_e : portata aria esterna (di reintegro) (m^3/h).
- C_e : concentrazione di inquinante nell'aria esterna (mg/m^3).
- Q : portata aria estratta (m^3/h).
- $C_{(R)}$: concentrazione di inquinante nell'aria estratta in presenza di ricircolo (mg/m^3).
- Q_r : portata aria di ricircolo (m^3/h).
- C_r : concentrazione di inquinante nell'aria di ricircolo (mg/m^3).
- Q_u : portata aria in uscita dal sistema (m^3/h).
- C_u : concentrazione di inquinante nell'aria in uscita (mg/m^3).
- η : rendimento dell'impianto di depurazione [$\eta = 1 - (C_u/C)$].
I valori assunti da η sono $0 \leq \eta < 1$.
- R : coefficiente di ricircolo; è la frazione di aria estratta che viene ricircolata ($R = Q_r/Q$).
I valori assunti da R sono $0 \leq R \leq 1$. Se $R < 0$ il ricircolo non è ammesso, se $R > 1$ il ricircolo può essere totale;
- \dot{S} : portata in massa di inquinante che si libera dalla sorgente.

Si considerino le seguenti ipotesi semplificative:

- a) il sistema sia in condizioni di stato stazionario, cioè non esistano variazioni nel tempo delle concentrazioni in ogni punto dello spazio;
- b) le densità dei flussi d'aria siano uguali e costanti;
- c) la concentrazione di inquinante nell'aria esterna sia nulla ($C_e=0$);
- d) la portata in massa di inquinante (\dot{S}) che si libera dalla sorgente non venga influenzata dal ricircolo e sia anche costante nel tempo: $\dot{S}_{(R)} = \dot{S}_{(R=0)} = \text{cost.}$

Realizzando opportuni bilanci di massa per l'inquinante, sia in condizioni di assenza che di presenza di ricircolo, si arriva alla seguente equazione:

$$\boxed{Q \cdot C_{(R)} = Q \cdot C_{(R=0)} + R \cdot Q \cdot (1-\eta) \cdot C_{(R)}} \quad (9.1)$$

ove $C_{(R=0)}$ è la concentrazione dell'inquinante nell'aria esterna in assenza di ricircolo.

Da essa si trova che la portata in massa di inquinante aspirato dall'impianto di ventilazione in presenza di ricircolo [$Q \cdot C_{(R)}$] è uguale alla portata in massa di inquinante aspirato in assenza di ricircolo [$Q \cdot C_{(R=0)}$] sommata alla portata in massa dell'inquinante ricircolato (pari al prodotto della portata ricircolata ($R \cdot Q$) moltiplicata per la sua concentrazione [$(1-\eta) \cdot C_{(R)}$].

Semplificando si ottiene:

$$C_{(R)} = C_{(R=0)} + R \cdot (1-\eta) \cdot C_{(R)} \quad (9.2)$$

ossia la concentrazione di inquinante nell'aria aspirata in presenza di ricircolo [$C_{(R)}$] è uguale alla concentrazione che si ha nell'aria aspirata in assenza di ricircolo [$C_{(R=0)}$] sommata al contributo di concentrazione dovuto al ricircolo [$R \cdot (1-\eta) \cdot C_{(R)}$].

Dalla 9.2

$$C_{(R)} = \frac{C_{(R=0)}}{1 - R \cdot (1-\eta)} \quad (9.3)$$

Assumendo che l'incremento di concentrazione di inquinante, dovuto al ricircolo, nell'aria aspirata dall'impianto sia uguale all'incremento di concentrazione nell'aria respirata dai lavoratori, dovuto al ricircolo stesso, dalla 9.2 vale anche:

$$C_{p(R)} = C_{p(R=0)} + R \cdot (1-\eta) \cdot C_{(R)} \quad (9.4)$$

ove:

$C_{p(R)}$: livello di esposizione professionale in presenza di ricircolo (mg/m^3)

$C_{p(R=0)}$: livello di esposizione professionale in assenza di ricircolo (mg/m^3)

Poichè la concentrazione $C_{p(R)}$ deve essere inferiore o uguale alla concentrazione limite di sicurezza C_{sic} (8.1):

$$C_{p(R)} \leq C_{sic} \quad (9.5)$$

sostituendo la 8.1 e la 9.4 nella 9.5 risulta:

$$R \cdot C_{(R)} \cdot (1-\eta) \leq \frac{C_{std}}{n} - C_{p(R=0)} \quad (9.6)$$

nella quale, sostituendo il valore di $C_{(R)}$ dato dalla 9.3, e ricavando R si ottiene:

$$R \leq \frac{\left[\frac{C_{std}}{n} - C_{p(R=0)} \right]}{\left[\frac{C_{std}}{n} - C_{p(R=0)} + C_{(R=0)} \right] \cdot (1 - \eta)} \quad (9.7)$$

si ottiene quindi che per determinare il massimo ricircolo possibile occorre conoscere la concentrazione di esposizione professionale in assenza di ricircolo $C_{p(R=0)}$, la concentrazione nell'aria estratta in assenza di ricircolo $C_{(R=0)}$, la concentrazione limite standard igienistica o di sicurezza **Cstd** adottata, nonché aver fissato il valore del coefficiente di sicurezza **n** e il rendimento minimo garantito dell'impianto di depurazione (η).

Se $R < 0$ il ricircolo non è ammesso.

Se $R > 1$ il ricircolo può essere totale ma naturalmente va calcolato considerando la portata minima d'aria esterna come da 4.12.

E S E M P I

Esempio n. 1

$$Q = 20000 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$C_{\text{std}} = 150 \text{ mg/m}^3$$

$$n = 3$$

$$C_{p(R=0)} = 45 \text{ mg/m}^3$$

$$R = 0,53$$

$$C_{(R=0)} = 90 \text{ mg/m}^3$$

$$\eta = 0,90$$

La portata di ricircolo deve essere $Q_r \leq 0,53 \cdot 20000 = 10600 \text{ m}^3/\text{h}$.

Esempio n. 2

$$Q = 20000 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$C_{\text{std}} = 150 \text{ mg/m}^3$$

$$n = 3$$

$$C_{p(R=0)} = 30 \text{ mg/m}^3$$

$$R = 3,08$$

$$C_{(R=0)} = 45 \text{ mg/m}^3$$

$$\eta = 0,90$$

Essendo $R > 1$, il ricircolo può essere totale. Si assume ovviamente il valore massimo di R : $Q_r = 1,00 \cdot 20000 = 20000 \text{ m}^3/\text{h}$, compatibilmente con la necessità indicata al punto 4.12.

Esempio n. 3

$$Q = 20000 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$C_{\text{std}} = 150 \text{ mg/m}^3$$

$$n = 2$$

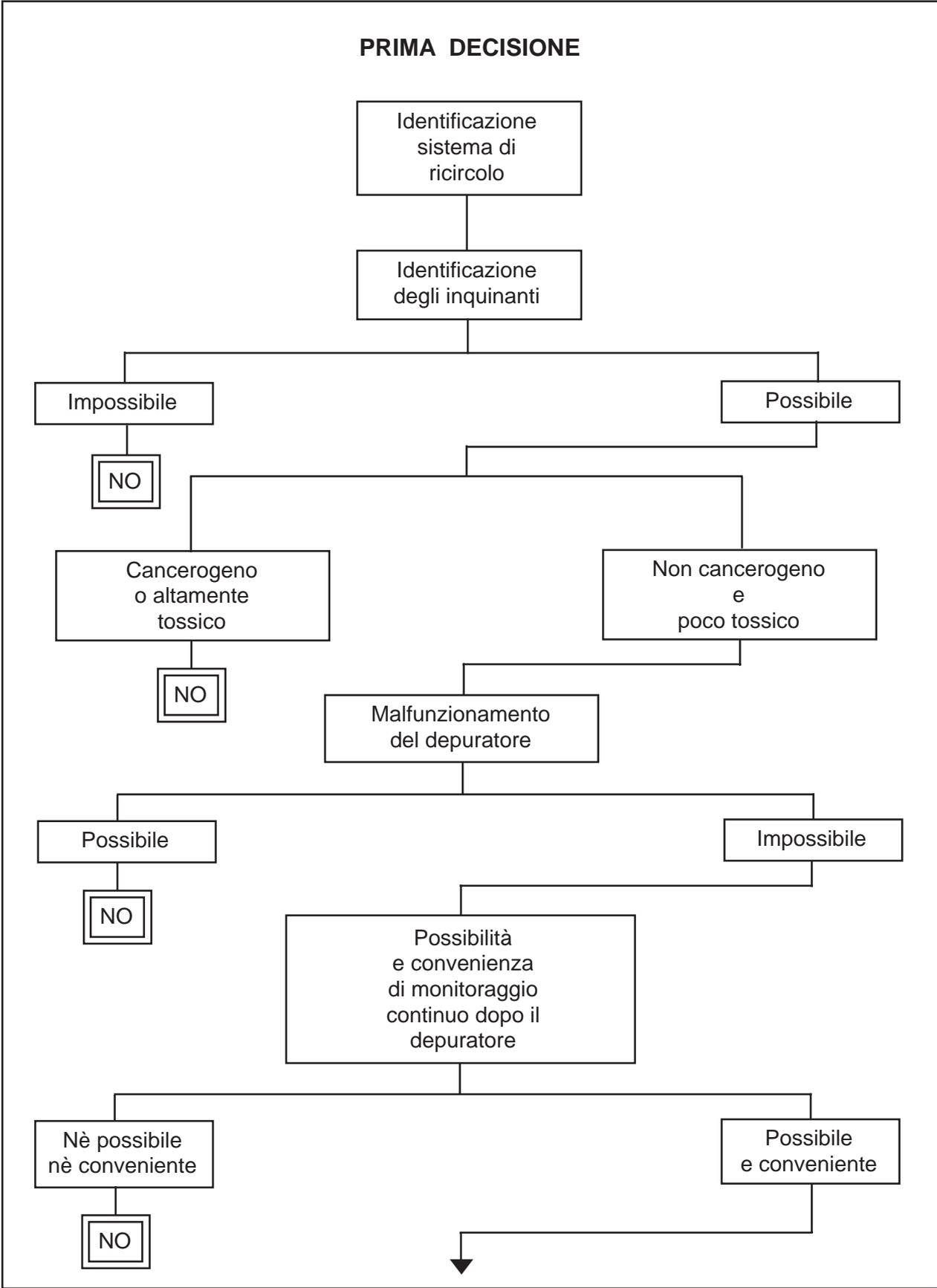
$$C_{p(R=0)} = 80 \text{ mg/m}^3$$

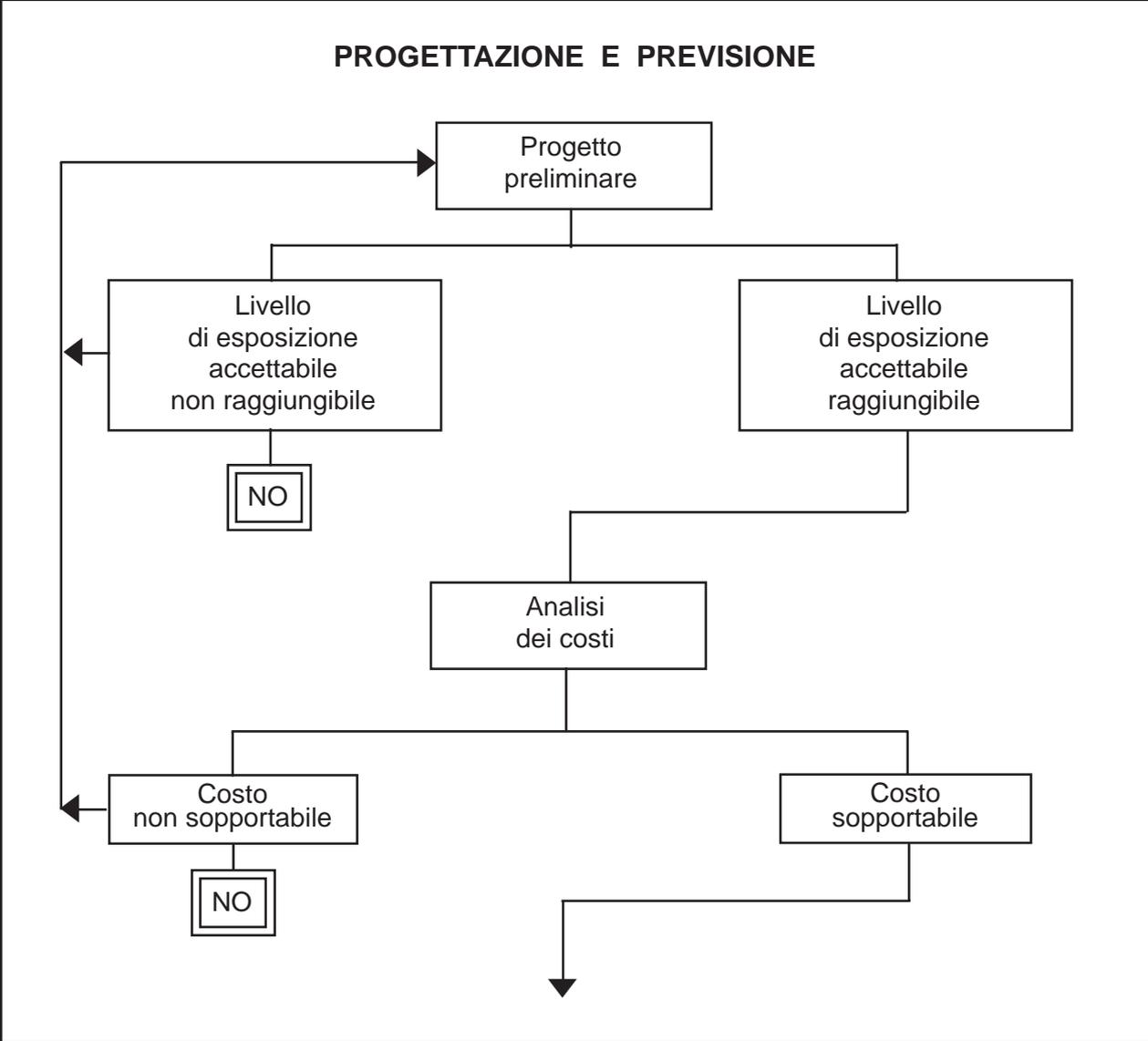
$$R = -0,05$$

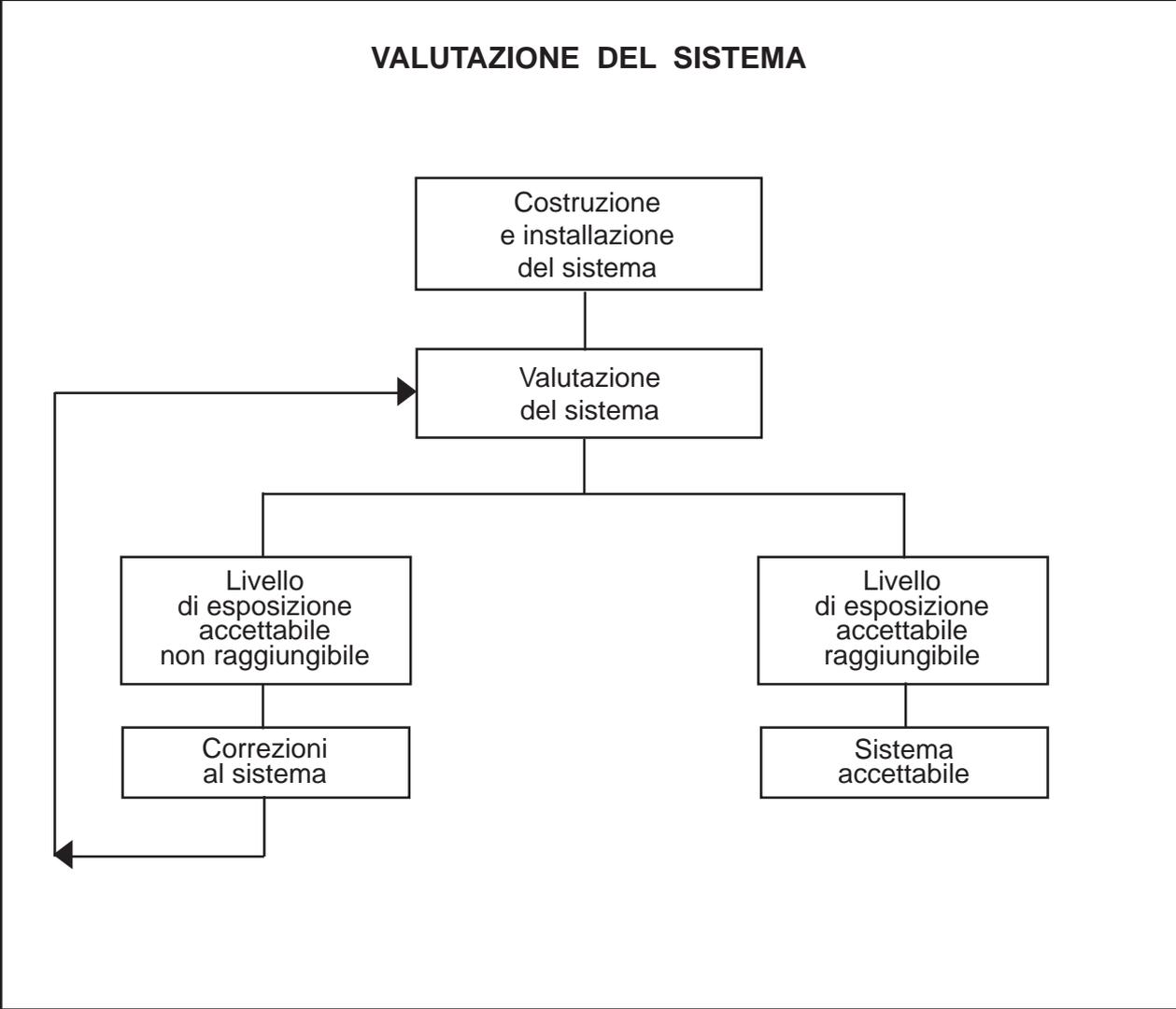
$$C_{(R=0)} = 100 \text{ mg/m}^3$$

$$\eta = 0,90$$

Essendo $R < 0$, il ricircolo non è ammesso.







ESEMPI DI DECISIONE IN SITUAZIONI FREQUENTI

LAVORAZIONE	AMMISSIBILITÀ RICIRCOLO	MOTIVAZIONE	TIPO DI SOLUZIONE
TORNITURA, FRESATURA, RETTIFICA, TRONCATURA, TRAPANATURA, TAGLIO, ecc. CON USO DI OLI LUBROREFRIGERANTI.	NO	Presenza di componenti altamente tossici e con sufficiente evidenza di effetti cancerogeni sull'uomo (alcuni tipi di oli minerali, IPA, composti azotati e solforati, ecc.).	Aspirazione localizzata con espulsione diretta all'esterno in accordo con le normative vigenti in materia di i n q u i n a m e n t o atmosferico.
SALDATURA IN POSTAZIONE FISSA O PREVEDIBILE	NO	Presenza di miscele di gas e fumi ed in alcuni casi vapori non facilmente identificabili e ad elevata tossicità.	Aspirazione localizzata con espulsione diretta all'esterno in accordo con le normative vigenti in materia di i n q u i n a m e n t o atmosferico.
SALDATURA IN POSTAZIONE IMPREVEDIBILE	SI	E' una eccezione. Nell'impossibilità di installare un impianto di aspirazione fisso, non esiste una soluzione migliore.	Aspirazione localizzata con abbattimento efficace dei fumi con segnalatore di guasti o di filtrazione inefficiente e rigorosa manutenzione.

BIBLIOGRAFIA

- 1) ACGIH "INDUSTRIAL VENTILATION - A manual of recommended practice" XX ed. (1988).
- 2) ASHRAE Standard 62-1989 "Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality". American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers, Atlanta, GA, 1989.
- 3) CAHIERS DE NOTES DOCUMENTAIRES - ND 1725, 135 - 1989
- 4) PATTY'S "Industrial Hygiene and Toxicology", 3^a Ed., Vol. 1, Ed. Clayton
- 5) Mc DERMOTT H.J. "Handbook of ventilation for contaminant control" - Ann Arbor Science Publishers, Michigan, USA (1977).