

Gas inquinanti dei motori Diesel nella costruzione di gallerie

Bollettino 1

Problemi, Obiettivi, Programma

Gas inquinanti dei motori Diesel

L'emissione dei gas di scarico dei motori Otto (benzina, gas) può essere ridotta a meno dell'1 % rispetto all'emissione grezza usando catalizzatori a tre vie usualmente impiegati per i veicoli stradali. All'interno di gallerie non è però consentito far uso di motori a benzina o a gas a causa del pericolo di incendi ed esplosioni. Laddove non è possibile usare aggregati a trazione elettrica, il macchinario in dotazione nelle gallerie deve essere equipaggiato con motori Diesel. Il problema è ora quello di sapere come fare per poter ridurre a una quantità ammissibile le loro tipiche emissioni inquinanti, ossia gli ossidi di azoto e il particolato.

● Gli **ossidi di azoto (NOx)** sono composti essenzialmente da NO e NO₂. I motori Diesel emettono prevalentemente NO: la quantità di NO₂ all'uscita del motore è solamente del 5-10 %. Nell'atmosfera l'NO si trasforma però lentamente in NO₂ tossico, reazione questa che in gallerie lunghe si svolge pressoché in modo completo [1].

L'effetto tossico dell'NO₂ è dovuto in primo luogo al fatto che questa sostanza forma al contatto con l'acqua



Figura 1: Machine de cantiere in esercizio in galleria

nitrito e acido nitrico, una reazione questa che a seconda dell'esposizione si verifica anche nelle vie respiratorie umide dove può provocare causticazioni.

		MAC 93 A	MAC94 CH	MAC 94/95 D
No	mg/m ³	30	30	30
No ₂	mg/m ³	6	6	9

● Per **particelle** si intende il particolato di sostanze solide presente nei gas di scarico di motori, sempre che sia filtrabile dopo diluizione con aria e raffreddamento a una temperatura inferiore a 52°C. Le particelle si formano anzitutto dalla combustione nei motori Diesel. Esse sono respirabili, come lo mostra la figura 1, e si compongono di fuliggine, solfati, idrocarburi combinati e acqua in percentuali diverse a seconda dei valori d'esercizio e del carburante dei motori.

Con il raffreddamento con l'acqua riccamente presente nel gas di scarico i solfati formano acidi solforosi e acidi solforici che figurano nella lista dei valori MAC con un limite bassissimo, pari a 1 mg/m³, a causa della loro azione caustica. La formazione di solfati può essere evitata in gran parte usando carburanti speciali poveri di zolfo, in commercio con un percento in peso di S<0.05, anziché carburante d'uso comune.

Gli **idrocarburi**, i cui componenti policiclico-aromatici PAH hanno un'azione cancerogena, si depositano nelle particelle di fuliggine dove vi rimangono saldamente legati esercitando un effetto assorbente. Nel caso di funzionamento a carico parziale la percentuale di idrocarburi è elevata rispetto alla massa del particolato, per scom-

Editoriale

Il progetto VERT* ha lo scopo di ridurre al massimo le sostanze nocive emesse dalle macchine edili in dotazione nei lavori di costruzione di gallerie. Ciò avviene a salvaguardia della salute delle persone occupate nei lavori di costruzione di gallerie. In considerazione alle numerose opere di costruzione gallerie il citato progetto viene sostenuto assieme dagli organi responsabili della sicurezza sul lavoro nella costruzione di gallerie in Austria, Germania e Svizzera, ossia da parte dell'AUVA, della TBG e dell'INSAI (presidenza).

Il presente bollettino è indirizzato ai tecnici che si occupano di questo problema. A intervalli da 2 a 3 mesi usciranno ulteriori bollettini dedicati ai singoli aspetti del progetto. Speriamo di incontrare con queste informazioni l'interesse degli specialisti in materia. Per gli indirizzi a cui rivolgersi vedere l'ultima pagina del presente bollettino.

AUVA, INSAI, TBG

* VERT significa «Verminderung der Emissionen von Baumaschinen im Tunnelbau» (Riduzione delle emissioni prodotte da macchinari già in dotazione nella costruzione di gallerie). Si intendono qui i motori esistenti sui cantieri e non quelli in fase di futuro sviluppo.

parire poi quasi totalmente passando a funzionamento a pieno carico. La concentrazione PAH si trova tipicamente entro alcuni $\mu\text{g}/\text{m}^3$ secondo recenti inchieste [2].

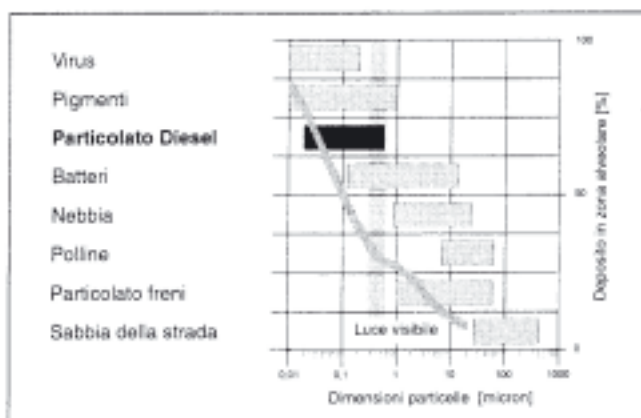


Figura 2
Granulometria del particolato inquinante l'atmosfera (barrette) e probabilità di sedimentazione in zona alveolare in funzione delle dimensioni delle particelle

Stando allo stato attuale delle ricerche tossicologiche [3, 4], il particolato fine «nucleo di fuliggine», che si compone essenzialmente di carbonio elementare, è associato al sospetto di esercitare un effetto cancerogeno. Il meccanismo di reazione deriva dal pericolo di sedimentazione [5].

Sulla base di risultati ottenuti da studi sulla cancerogenicità, nel 1988 la International Agency for Research on Cancer (IARC) ha classificato le emissioni da motori Diesel come «probabili sostanze cancerogene». A livello nazionale vennero fissate i seguenti valori limite:

	RTSP 93 A	MAC 94 CH	RTSP 94 D
DME (particelle)			
mg/m ³ sotterraneo	0.6*	0.2	0.6
mg/m ³ fuori terra		0.2	0.2
Benzo(a) pirene	0.002	0.002	0.002

* Valore orientativo

In questa definizione del valore limite le particelle non vengono più menzionate come filtrato eterogeneo e di conseguenza le emissioni dei motori Diesel (EMD) vengono definite quale tenore complessivo di idrocarburi del particolato filtrato. Le EMD contengono quindi sia carbonio elementare (fuliggine) sia la percentuale di carbonio organico degli idrocarburi depositati.

Va altresì attirata l'attenzione sul fatto che per la manipolazione di sostanze cancerogene esiste un'esigenza specifica, vale a dire che bisogna restare di molto al di sotto dei valori limite sempre laddove lo sia tecnicamente possibile.

Nel 1993, l'INSAI ha allestito, in collaborazione con l'Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio (FAFP), un inventario delle emissioni provocate dalle macchine edili in Svizzera, dal quale risulta (fig. 3) che le macchine edili in dotazione nel nostro paese sono caratterizzate da emissioni di particolato particolarmente

elevate che superano di 10 volte circa i valori limite vigenti per il traffico stradale.

Per i veicoli industriali ammessi al traffico stradale si vuol rendere più severa la legislazione vigente in materia la quale prevederà di ridurre il tenore di particolato prodotto dai motori nuovi da 0.36 g/kWh al di sotto di 0.15 g/kWh.

Per i veicoli non ammessi al traffico stradale non esiste a livello europeo nessuna legislazione del genere. I primi progetti in materia mirano in primo luogo a una riduzione delle emissioni dei trattori agricoli. Di solito le normative di questo genere vengono formulate solo per motori nuovi e hanno di regola un periodo transitorio di 3-4 anni. Una legislazione che impone la modifica dei motori già in dotazione esiste solo per motori stazionari secondo la normativa tedesca «Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft» (TA Luft) (norme tecniche aria), non invece per i veicoli stradali e meno ancora per i veicoli industriali non ammessi al traffico stradale, quali le macchine edili. Non bisogna quindi aspettarsi che la sollecitazione derivante dai gas nocivi emanati dai motori Diesel nei lavori di costruzione di gallerie subisca spontaneamente un cambiamento importante nei prossimi anni.

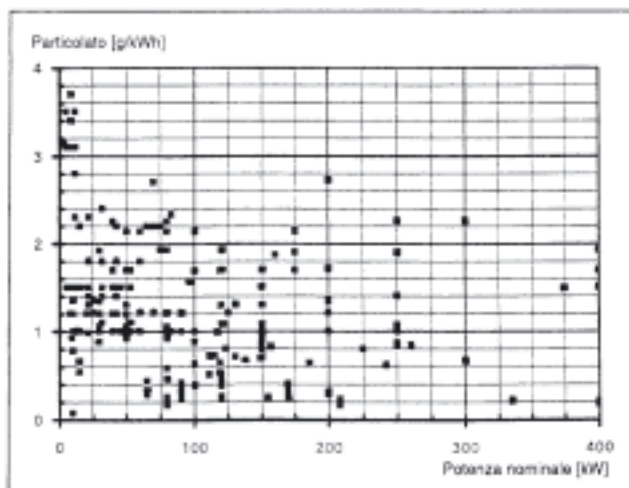


Figura 3
Emissione di particolato in funzione della potenza nominale secondo l'inventario svizzero delle emissioni prodotte dalle macchine edili [6].

Qualità dell'aria in galleria e nell'aria viziata delle gallerie

Siccome la situazione nel settore delle normative non prevede come detto una limitazione delle emissioni prodotte dai veicoli a motore Diesel in dotazione nelle gallerie, non rimane che la diluizione quale mezzo per ottenere la qualità d'aria definita dai valori MAC risp. dai valori di concentrazione indicativa tecnica (CIT).

In tutti i cantieri di costruzione gallerie si ricorre oggi alla diluizione mediante ventilazione, il cui valore indicativo della portata d'aria è di 4 m³/min per kW/Diesel installato. In base all'esperienza questa ventilazione basta per restare entro i valori limite valevoli per l'NO e l'NO₂.

Quanto all'EMD si dispongono di risultati ottenuti dalle misurazioni su campioni prelevati da cantieri sotterra-

nei, eseguite in questi ultimi anni dall'AUIA e dalla TBG e miranti la definizione dei valori limite. I valori rilevati si trovano in gran parte entro 0,4 e 0,8 mg/m³. I valori di punta superano tuttavia i 2 mg/m³, il che vuol dire che in questi casi i valori limite vengono superati di molto.

In linea di massima è senz'altro possibile aumentare la quantità d'aria da insufflare nei posti di lavoro in sotterraneo, il che creerebbe, però, i seguenti problemi:

- ◆ un miglioramento si ha solo nella parte centrale, mentre sul luogo di lavoro sono da prevedere elevati sorpassi dei valori limite.
- ◆ l'intera massa di emissioni che viene espulsa dalla galleria come aria viziata, rimane intatta e grande - un problema per l'ambiente.
- ◆ la ventilazione di gallerie è un fattore finanziario importante nella costruzione di gallerie.
- ◆ in molti casi l'installazione di potenti impianti di ventilazione comporterebbe la scelta di profili (sezioni) più grandi delle gallerie.

Per poter tener conto di questa situazione occorre abbandonare l'attuale ragionamento imperniato puramente sull'immissione, ossia sulla valutazione media non differenziata. Non è la sollecitazione media dovuta alle sostanze nocive che bisogna limitare, bensì l'emissione di gas nocivo alla fonte, quindi l'emissione prodotta da ogni singolo motore Diesel.

In questo modo sarebbe possibile eliminare i motori a forte emissione, le cosiddette «pecore nere», definitivamente dalla galleria, e garantire così la qualità dell'aria della galleria anche senza potenziare la ventilazione. Grazie a controlli regolari dei motori si potrebbe inoltre predisporre direttamente l'adozione di misure mirate durante la manutenzione e, dato il caso, l'adattamento del macchinario.

Finalità VERT

Il progetto persegue tre obiettivi.

1. Metodi di trattamento dei gas di scarico

Esame delle misure miranti una riduzione delle emissioni prodotte dalle macchine edili. Queste misure devono essere tali da poterle adottare sia per motori in dotazione che per veicoli di vecchia data. Per poterle realizzare, le misure di questo genere devono soddisfare le seguenti condizioni:

- ◆ devono essere disponibili sul mercato;
- ◆ devono avere prezzi accettabili;
- ◆ devono essere accettate dal costruttore del motore senza limitazione della garanzia.

2. Tecnica di misurazione

Controllo ed eventualmente ulteriore sviluppo dei metodi di misurazione per l'accertamento della qualità dei gas di scarico dei motori Diesel da poter eseguire sul posto. A questi strumenti di misurazione da usare sui cantieri vengono poste inoltre le seguenti condizioni:

- ◆ devono sopportare le forti sollecitazioni cui sono sottoposti sui cantieri;
- ◆ devono essere disponibili sul mercato;
- ◆ devono avere un prezzo tale da permettere anche alle imprese edili dotate di un piccolo parco macchi-

ne di equipaggiarsi con questi strumenti per un controllo della qualità delle emissioni prodotte dai loro motori da poter eseguire durante i turni riservati al servizio parco macchine;

- ◆ devono essere tali che i risultati ottenuti abbiano a correlare in misura ragionevole con le misurazioni ufficiali effettuate per la certificazione dei motori;
- ◆ devono essere approvati dagli organi nazionali di taratura.

3. Determinazione dei valori limite

Per i motori Diesel in dotazione nei cantieri di costruzione gallerie vanno proposti valori limite di emissione per il particolato (EMD) e per l'ossido di azoto. Questi valori limite sono da definire conformemente alla norma ISO 8178, a seconda del tipo di strumento seguendo i cicli di misurazione C1 e D2 o il test di 13 punti. La misurazione di certificazione deve avvenire in condizioni stazionarie su banchi di prova motori nel sistema usuale.

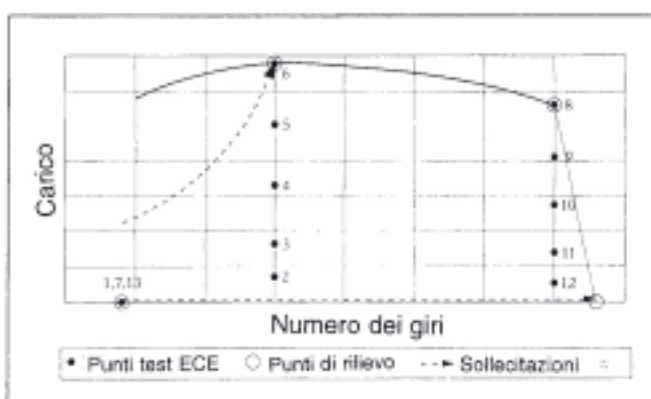


Figura 4
Ciclo del test ECE R49 «Test di 13 punti» e valori d'esercizio dei motori per le misurazioni di controllo

Misurazioni di controllo: sui cantieri risulta impossibile eseguire tali onerosi metodi di misurazione. Sul posto sarebbe meglio poter effettuare solo misurazioni di controllo, ossia nelle condizioni di funzionamento regolabili senza dover modificare i veicoli e i motori. Questi valori d'esercizio sono per esempio:

- ◆ basso regime di minimo;
- ◆ elevato regime di minimo;
- ◆ pieno carico trasduttore nel punto coppia frenante;
- ◆ pieno carico idraulica nel punto d'accoppiamento.

Questi valori d'esercizio sono contenuti nel ciclo del test standard secondo la figura 4: le indicazioni relative ai livelli di emissione prevedibili sui cantieri in funzione di questi valori d'esercizio possono quindi essere rilevate dalla misurazione di certificazione secondo il ciclo ISO.

Va aggiunta qui, quale ulteriore controllo importante del comportamento del motore, la misurazione del fumo durante l'acceleramento libero dal regime di minimo basso al regime di minimo elevato facendo ricorso all'opacimetro.

Le citate situazioni d'esercizio possono essere considerate complessivamente come rappresentative per il comportamento dei motori, sono ben riproducibili e non sollecitano i motori in modo intollerabile durante i tempi tarati di 3 minuti circa.

Quali valori di referenza per la valutazione di queste misurazioni valgono indicazioni del costruttore o valori di rilievi accertati durante l'approvazione degli apparecchi per la costruzione di gallerie.

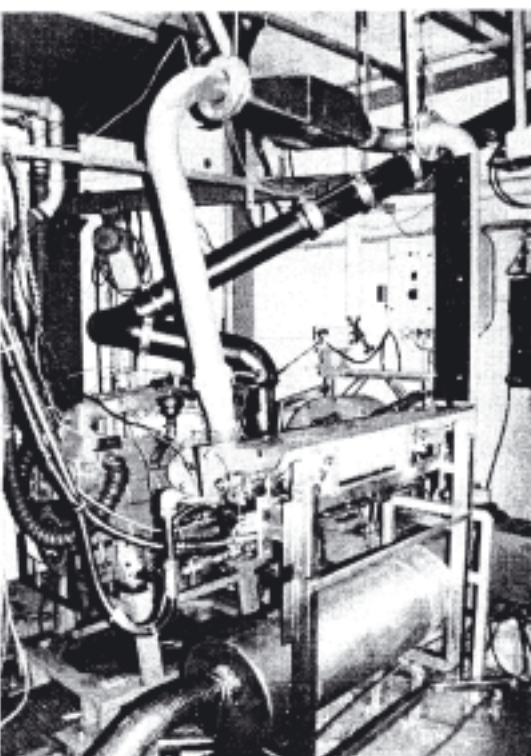
Programma e finanziamento

Il via al progetto VERT venne dato nel mese di novembre 1993 ed è articolato sostanzialmente in tre fasi:

- ◆ 1994 inizio 1995 Misurazione su banchi di prova motori del reparto controllo gas di scarico della scuola d'ingegneria di Bienne/Svizzera, prof. Dr. J. Czerwinski, per la valutazione delle misure di riduzione dei gas di scarico e per l'esame degli strumenti di misurazione dei gas di scarico idonei per cantieri edili.
- ◆ 1995 inizio 1996 Equipaggiamento di macchine edili rappresentative con le installazioni che sono state sottoposte a valutazione per la riduzione dei gas di scarico. Controllo a lungo termine sui cantieri, unitamente al controllo della tecnica di misurazione.
- ◆ 1996 Determinazione dei valori limite e dei procedimenti di controllo.

Il costo complessivo del progetto si aggira intorno a 1,6 milioni di franchi svizzeri, finanziati per metà dai sostenitori del programma (AUVA, INSAI E TBG) e per metà dall'industria privata (motori, filtri antifuliggine, catalizzatori, carburanti, additivi, strumenti di misurazione).

Usciranno ulteriori numeri di questo bollettino a intervalli di 2-3 mesi che tratteranno dettagliatamente la valutazione delle misure di adattamento delle macchine edili, la tecnica di misurazione sui cantieri e la filosofia dei valori limite.



Filtro antifuliggine a un motore LIEBHERR

Bibliografia

1. K. Wörsdorfer, Verhalten von NO und NO₂ in Abwettern, Glückauf-Forschungshefte 53 (1990) 1
2. H. Schlitt, Untersuchung des Verhaltens von Russfiltern an Dieselmotoren unter Tage, Glückauf-Forschungshefte 54 (1993) 4
3. P.D. Heinrich, Zur Frage der Gefährdungspotentials von Dieselmotoren für den Menschen, Fraunhofer-Institut, Hannover, SAE-Tagung Wil, 22.4.1994
4. William E. Peplko, Chao Chen, Quantitative Assessment of Cancer Risk from Exposure to Diesel Engine Emissions, US Environmental Protection Agency, Regulatory Toxicology and Pharmacology, 17/1993
5. Depositions- und Retentionsmodell für die interne Dosimetrie des menschlichen Respirationstraktes, Health Physics 12 (1966), 173
6. Schadstoffemission und Treibstoff-Verbrauch von Baumaschinen, Bericht Umweltmaterialien Nr. 23 UFAFP, Berna, 1994

Abbreviazioni

INSAI	Istituto nazionale svizzero di assicurazione contro gli infortuni
AUVA	Allg. Unfallversicherungsanstalt - Austria
TBG	Tiefbau-Berufsgenossenschaft - Germania
UFAFP	Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio
MAC	Concentrazione massima sul posto di lavoro
CIT	Concentrazione indicativa tecnica
RTSP	Regole tecniche per le sostanze pericolose
PAH	Abbreviazione tedesca per idrocarburi policiclico-aromatici
EMD	Emissioni da motori Diesel
IARC	International Agency for Research on Cancer
TA Luft	Abbreviazione tedesca per istruzioni tecniche contro l'inquinamento atmosferico - Germania
ISO	International Standards Organization

Direzione del progetto

Studio d'ingegneria TTM, A. Mayer
Föhrholzstr. 14b, CH-5443 Niederhardenhof
Tel. CH-0041/(56)95 14 14 Fax 0041/(56)95 14 15

Indirizzi per informazioni

AUVA: E. Bigga A/0043(3842)24317
TBG: Prof. D. Kieser D/0049(761)73135
INSAI: W. Scheidegger CH/0041(41)21 50 60

Ordinazione del bollettino

AUVA: Allgemein Unfallversicherungsanstalt
Abteilung für Unfallverhütung und Berufskrankheitenbekämpfung
Adalbert-Stifterstr. 65, A-1220 Vienna (Signora Radoszics)
Tel. 0222-33111-418 fax 0222-33111-347
Numero di ordinazione AUVA-Report 4/1

TBG:

Tiefbau-Berufsgenossenschaft
Am Knie 6 D-81241 Monaco di Baviera
Tel. (089) 8897-505 fax (089) 8897-494

INSAI

Istituto nazionale svizzero di assicurazione contro gli infortuni
Servizio clientela, casella posta, 6002 Lucerna
Tel. 041/21 58 51 fax 041/21 59 17