

Gas inquinanti dei motori Diesel nella costruzione di gallerie

Bollettino 4: Prova reale di sistemi filtranti per fuliggine

1. Obiettivo

Nell'ambito del progetto VERT si è voluto comprovare:

- che i sistemi di trattamento dei gas di scappamento attualmente disponibili sul mercato possono essere montati sui motori Diesel delle macchine in dotazione sui cantieri di costruzione gallerie;
- che con questi sistemi è possibile ridurre efficacemente l'emissione di sostanze nocive direttamente alla fonte;
- che è senz'altro possibile rispettare i valori MAC di qualità dell'aria ambiente sui posti di lavoro senza dover adottare ulteriori misure di ventilazione [1].

Editoriale

Grazie alle loro qualità di rendimento, potenza e affidabilità i motori Diesel sono diventati mezzi di lavoro assolutamente indispensabili nella costruzione di gallerie. La loro emissione di sostanze nocive, specialmente l'espulsione di particelle fini (EMD*) pericolose per la salute, è però talmente elevata da rendere il più delle volte impossibile rispettare il valore limite MAC valevole dal 1994 per la costruzione di gallerie, anche rafforzando la ventilazione. Solo una riduzione delle emissioni attraverso un trattamento dei gas di scappamento può costituire a breve termine una soluzione di ripiego.

Nell'ambito del VERT è stato possibile dimostrare con test su banchi di prova che si dispongono di sistemi analoghi idonei anche per i lavori di costruzione gallerie. Ma l'ora decisiva è arrivata con l'applicazione pratica sul posto. Nove macchine edili sono state equipaggiate con una scelta rappresentativa di filtri provvisti di differenti sistemi di rigenerazione. Questi filtri sono in esercizio dalla fine del 1995 e vengono sorvegliati sull'arco di un anno dalle istanze responsabili della Suva (Svizzera), della AUVA (Austria) e della TBG (Germania). L'Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio (UFAFP) responsabili nel campo dell'inquinamento atmosferico in Svizzera segue i risultati ottenuti da questa prova onde poter estendere l'applicazione di tali sistemi di trattamento dei gas di scappamento nell'intero settore delle Off-road.

AUVA, Suva, TBG

VERT significa "Verminderung der Emissionen von Realmaschinen 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. Il bollettino VERT n. 1 informa sui motivi e sugli obiettivi del progetto VERT, il bollettino 2 sulla scelta dei filtri di particolati Diesel e sui procedimenti di rigenerazione e il bollettino 3 sul tema "Più aria o meno gas inquinanti?".

* EMD sono considerate cancerogene. Per queste sostanze vale, in via di principio, l'obbligo di un'assoluta minimizzazione dei livelli di soglia.

I risultati della fase dei test sui banchi di prova 1994/95 [2] sono stati molto incoraggianti: tutti i filtri sottoposti ai test hanno fatto registrare gradi di filtrazione di oltre il 90%. I banchi di prova non permettono tuttavia di simulare la situazione reale di impiego di una macchina edile: solo l'uso pratico sul cantiere fornisce le basi di valutazione necessarie per sapere se un sistema di trattamento dei gas di scappamento si rivela idoneo per interventi in galleria.

È stata perciò presa la decisione di provare sull'arco di un anno una scelta rappresentativa di filtri e di sistemi di rigenerazione al fine di ottenere conclusioni affidabili circa la loro idoneità per eseguire lavori di costruzione in sotterraneo.



Figura 1: Caricatrice su ruote 966 F provvista di un filtro antifuliggine DSI, in azione su un cantiere in condizioni di lavoro difficili.

2. Montaggio/equipaggiamento

Le macchine edili sono grandi apparecchi costosi. Il loro equipaggiamento con filtri antifuliggine premette quindi l'osservanza delle seguenti condizioni:

- durata di inutilizzazione limitata;
- minime trasformazioni tecniche;
- conservazione di tutte le funzioni operatrici;
- nessuna compromissione delle condizioni di visibilità;
- nessun aumento delle emissioni di rumore.

Le dimensioni della maggior parte dei filtri antifuliggine scelti corrispondono più o meno a quelle dei silenziatori. I filtri sono incorporati nell'apparecchio al posto dei silenziatori e permettono di ridurre il rumore nella stessa misura e nella stessa gamma di frequenze: in alcuni casi è stato persino possibile ottenere un miglioramento dei valori acustici.

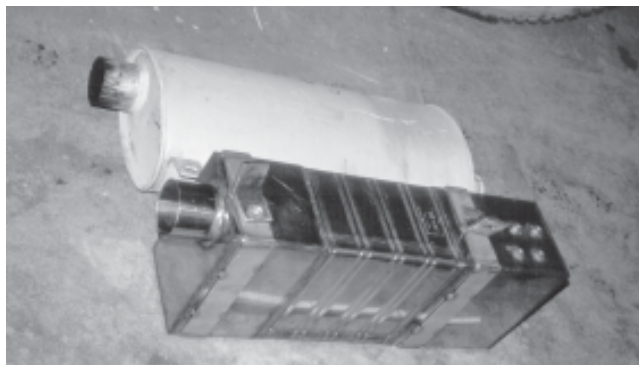


Figura 2: Filtro antifuliggine SHW (in alto) paragonato con il silenziatore originale del bagger LIEBHERR A912 (in basso).

3. Filtri

Per l'esecuzione delle prove reali venne fatta una scelta rappresentativa dei mezzi filtranti attualmente disponibili in commercio sulla base dei dati ottenuti dai test effettuati sui banchi di prova motori della Scuola tecnica superiore di Bienne.

● **Filtri alveolari ceramici monolitici:** fabbricati dalla ditta NGK e Corning. Materiale: cordierite. La geometria alveolare ha una sezione uniforme di 2x2 mm. Sono filtri di superficie con differenti strutture di porosità. Vi sono rappresentati i sistemi ECS, DSI e UNIKAT. Questi filtri sono diffusi in tutto il mondo. Il loro inconveniente è costituito dal pericolo di rottura da shock termico dovuto alle temperature elevate che possono crearsi da una combustione incontrollata della fuliggine trattenuta dal filtro. Queste tensioni devono essere ridotte a una misura tollerabile con una rigenerazione ben controllata.

● **Filtri metallici a sinterizzazione,** sistema SHW. Si tratta pure di un filtro alveolare: benché sia strutturalmente analogo al filtro alveolare ceramico, esso è invece di metallo. Di conseguenza pesa di più, però è meno sensibile alle tensioni termiche.

● **Filtri a fibre ceramiche,** sistema BUCK. Si tratta di filtri a maglia di filamenti, appartenenti alla famiglia dei filtri penetranti aventi ottime caratteristiche di separazione di particelle finissime. Hanno una struttura più voluminosa dei filtri alveolari ceramici e metallici.

● **Filtri a fibre ceramiche** del tipo ad avvolgimento di filamenti, sistema HUG.

Non è stato possibile provare il funzionamento reale del filtro ad avvolgimento di filamenti della ditta 3M, sottoposto a test sui banchi di prova della Scuola tecnica superiore di Bienne, non essendo disponibile nelle dimensioni corrispondenti a quelle delle macchine edili scelte.

4. Metodi di rigenerazione

I metodi di rigenerazione sono stati scelti con lo stesso criterio ossia secondo lo stato della tecnica.

● **Bruciatori Diesel a flusso totale,** sistema DSI, in funzione su due veicoli, in ambedue i casi in combinazione con filtri alveolari ceramici. Il sistema è relativamente dispendioso, ma tutto automatico, interamente sviluppato e sottoposto a test sofisticati.

● **Rigenerazione elettrica periodica** viene applicata nel sistema UNIKAT. I filtri trattengono la fuliggine sull'arco di un intero turno di lavoro e devono essere perciò di grandi dimensioni. La distruzione per bruciatura della fuliggine avviene allacciando i filtri alla corrente elettrica di regola una volta al giorno per la durata di alcune ore. Anche se l'applicazione della rigenerazione elettrica periodica in gallerie richiede in più l'adozione di misure organizzative, molto parla in favore di questo sistema già collaudato su vasta scala.

● **Additivi della combustione:** questi metodi di rigenerazione passiva vengono esaminati in combinazione sia con i filtri alveolari ceramici ECS sia con i filtri metallici a sinterizzazione e con alcuni filtri a fibre. Tre sono gli additivi sottoposti a test:

- * ELOYS, DPX9 della Rhône-Poulenc
ca. 150 mg di cerio per un litro di carburante diesel
- * Ferrocen, DF60 della PLUTO
ca. 18 mg di ferro per un litro di carburante diesel
- * OS 960401 della LUBRIZOL
ca. 50 mg di rame per un litro di carburante diesel

Questo metodo che consiste nell'addizione continua al diesel dei cosiddetti catalizzatori per carburante è economicamente vantaggioso e ha dato ottimi risultati da test eseguiti su motori. Gli ossidi metallici generano la rigenerazione nel filtro antiparticelle a temperature attorno ai 400° C e vi vengono trattenuti quasi completamente. I costruttori possono contare su vaste esperienze specie nel settore degli autocarri e degli autobus. L'applicazione su macchine edili è invece un campo ancora relativamente nuovo. All'inizio dei test reali sul cantiere la dosatura è stata fatta manualmente oppure il pieno venne effettuato con miscele già pronte: a partire da metà 1996 si impiegano impianti di dosatura automatici che registrano la quantità di additivi impiegata.

● **Rivestimento catalitico:** ambedue i tipi di filtri a fibre hanno un rivestimento catalitico, ciò che permette di ridurre di circa 200° C la temperatura di combustione della fuliggine.

Particolari precauzioni nell'uso di additivi

L'uso di additivi per carburanti richiede l'osservanza di determinate disposizioni. Esso sottostà alle ordinanze sulle sostanze e, a seconda della loro composizione, all'ordinanza contro l'inquinamento atmosferico.

Conformemente alle raccomandazioni dell'Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio (UFAFP) sono state adottate le seguenti misure al fine di evitare qualsiasi emissione secondaria indesiderabile, nonché per garantire l'affidabilità dei risultati ottenuti dai test degli additivi:

- per quanto possibile, ogni sistema disponibile in due versioni confrontabili;
- misurazioni periodiche di laboratorio e sul posto delle sostanze dannose emanate dai motori e delle eventuali emissioni secondarie associate al sistema;
- controllo della concentrazione nel gas di scappamento e nei filtri;
- uso di dispositivi di controllo che segnalano e registrano tutte le sollecitazioni eccessive e tutti i danni subiti dai filtri;
- controlli finali dei sistemi di filtraggio eseguiti dai costruttori e da laboratori indipendenti.

5. Sorveglianza

Durante le prove reali sul cantiere gli impianti di filtraggio vengono sorvegliati continuamente da un sistema di raccolta dati allo scopo di controllare eventuali perdite di pressione e la temperatura dei gas di scappamento. Ciò permette, da un lato, di garantire la sicurezza di funzionamento dei motori e dei filtri e, dall'altra, di raccogliere informazioni relative al funzionamento durante i test reali.

Controllo della pressione

Durante la fase di filtrazione della fuliggine i rispettivi filtri generano una contropressione non indifferente che deve essere vinta dal motore. Si ha quindi un aumento del lavoro di mandata dei motori, nel cilindro rimane un po' più di gas di scarico e nel caso di motore sovralimentato il livello di sovralimentazione e l'eccesso d'aria vengono ridotti con la riduzione degli sbalzi di espansione nella turbina. Una contropressione troppo elevata provoca un peggioramento della potenza del motore, del consumo di carburante e dell'emissione di particolato. La perdita di pressione è quindi un valore determinante e deve quindi essere controllata a impianto in funzione.

Nei sistemi automatici, quali i DSI, questi controlli vengono effettuati dallo stesso sistema elettronico.

Registrazione di dati

Il ciclo operativo della maggior parte delle macchine edili varia da un intervento all'altro, il che rende pressoché impossibile una standardizzazione. Non è inoltre da escludere che le condizioni cambino nel corso delle prove: per esempio i filtri possono essere ricoperti da cenere d'olio. È quindi necessaria una sorveglianza continua onde poter registrare le informazioni più importanti per tutta la durata di funzionamento dell'impianto. Tutti i filtri dispongono quindi di un dispositivo speciale di registrazione dati:

- misurazione della temperatura a monte del filtro mediante termoelementi (PHILIPS, mantelcoax), convertitore TCM e compensazione;
- trasmettitore di sbalzi di pressione, banda da 0 a 0,5 bar (HUBA Control, tipo 692);
- "Data-Logger" (Smart Reader della SCHILDKNECHT): 7 canali con sensore della temperatura interna e batteria, intervalli di misurazioni minimi 8 sec., lettura su visualizzatore numerico (PC). Capacità di memoria: con solo 2 canali e tempi di risposta di 2 minuti: 22 giorni.
- allacciamento alla batteria di 24 volt di cui è dotato il veicolo, stabilizzazione;
- isolamento dalle vibrazioni del telaio del veicolo.

Questa registrazione di dati permette di rilevare singoli fenomeni quali per esempio la bruciatura di fuliggine con il massimo grado di disintegrazione, nonché la memorizzazione a lungo termine di dati allo scopo di individuare le possibili tendenze. La configurazione standard della memoria conserva sempre i dati degli ultimi 22 giorni così da poter seguire anche cambiamenti lenti e riprodurre facilmente fenomeni improvvisi.

I dati possono essere letti regolarmente e trattati con un programma per PC appropriato (DIADEM della GFS).

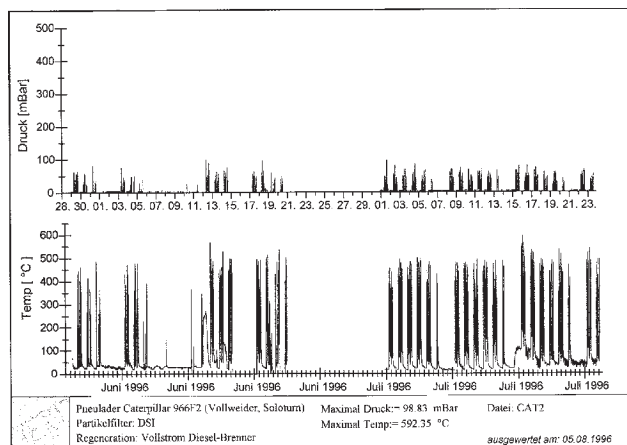


Figura 3: Pressione e temperatura a monte del filtro sull'arco di più settimane. È possibile spaziare singoli fenomeni con lo zoom.

6. Misurazioni periodiche di emissioni

A intervalli di 6 settimane circa le emissioni di gas di scappamento di tutte le macchine edili usate per i test reali vengono controllate dalla Suva. Si tratta dell'emissione di CO, CO₂, NO, NO₂, HC e O₂, nonché dell'emissione di fumi. A tale scopo si è fatto ricorso ai seguenti apparecchi scelti dopo una valutazione nella fase di test su banchi di prova motori¹:

- Di-Smoke AVL 435, dotato di un banco di misura di 4 gas.
- Analizzatore VLT per i fumi prodotti dai motori diesel. Questi due apparecchi servono alla misurazione dell'emissione di fumo prodotta in fase di accelerazione.
- Automatic-Smoke-Tester AVL 407 atto a misurare la quantità di fumo emessa in regime a pieno carico a valle del filtro antifuliggine.
- Computer RBR per gas di scappamento, adatto alla rilevazione dei componenti O₂, CO, CO₂, NO, NO₂ e HC.
- Computer MRU per l'analisi dei gas fumogeni con funzioni analoghe.



Figura 4: Furgoncino Suva in azione per la misurazione di gas.

¹ In un prossimo numero di VERT verrà trattata l'evoluzione degli apparecchi adatti alla registrazione di emissioni di fumo, del fumo in regime a pieno carico, nonché delle emissioni gassose dei motori degli apparecchi edili.

Le sostanze nocive gassose CO, CO₂, NO, NO₂, HC e O₂ vengono misurate a basso regime di minimo, a elevato regime di minimo e almeno in un punto di pieno carico regolabile sia con trasmissione a convertitore di coppia, sia con trasmissione idrostatica. Questo regime di pieno carico può restare in funzione per una durata limitata di 2-3 minuti a causa del riscaldamento dell'olio idraulico. Se ne approfitta per misura anche il fumo prodotto.

Per determinare le caratteristiche delle emissioni transitorie si misura l'emissione di fumo a regime di accelerazione libera e di accelerazione sotto carico [1].

Durante la misurazione vengono rilevate anche la temperatura dell'olio e il numero di giri del motore, nonché la pressione e la temperatura a monte del filtro.

La misurazione dura complessivamente 1 ora circa. In via generale viene considerato tollerabile questo dispendio di tempo per il controllo regolare dei motori diesel nei lavori di costruzione di gallerie (circa una volta all'anno).

7. Controlli periodici

Carburante: il macchinista tiene un controllo del consumo di carburante e dell'uso di additivi, così da poter allestire un bilancio per tutta la durata dei test.

Si provvede periodicamente a prelevare provini di carburante per controllare essenzialmente la qualità della miscelazione.

Lubrificante: a intervalli di 250 ore di funzionamento viene prelevato da tutti gli apparecchi un campione di lubrificante e sottoposto ad analisi da parte della ditta Ammann/Langenthal. Ci si concentrerà sul contenuto di fuliggine nell'olio, contenuto che può aumentare a causa della contropressione.

8. Lavori aggiuntivi

● In vasti lavori condotti presso il politecnico federale PF di Zurigo e la Scuola tecnica superiore STS di Bienne ci si è dedicati all'esame del processo di separazione delle particelle fini mediante differenti filtri, raccogliendone i risultati in una pubblicazione [4]. I lavori sono tuttora in corso.

● Alla STS/Bienne sono state svolte nel mese di giugno 96 inchieste supplementari circa l'influsso che gli additivi per carburanti hanno sulla ripartizione granulometrica delle particelle di fuliggine.

● Al PF di Zurigo sono in corso contemporaneamente lavori fondamentali di ricerca per migliorare la reazione di combustione con l'aggiunta di additivi per carburanti. Sembra che essi abbiano un effetto non solo sui filtri antifuliggine, ma anche sul miglioramento della reazione esotermica all'interna della camera di combustione.

● Su iniziativa UFAFP, presso il Laboratorio federale di prova dei materiali e di ricerca/Dübendorf sono stati avviati nell'autunno del 1996 esperimenti atti ad accertare la presenza di eventuali emissioni secondarie associabili agli additivi per combustibili.

9. Valutazione

Tutti gli apparecchi devono sottostare a un test reale della durata minima di un anno, dopo di che si provvederà a smontare i filtri e a farli controllare dai costruttori e da laboratori indipendenti per un esame secondo i criteri seguenti:

- resistenza, danni interni, corrosione;
- deposizione di sostanze inerti (cenere d'olio e di combustibile, materiale d'abrasione, polveri fini, residui);
- accumulo di additivi e bilancio per tutta la durata d'utilizzazione;
- nei casi di particolare interesse, i filtri verranno di nuovo sottoposti a un controllo sui banchi di prova motori.

10. Esperienze fatte

Desideriamo anzitutto ringraziare le imprese di costruzione che ci hanno permesso di eseguire i nostri test con le loro preziose macchine. Questo gesto sottolinea il loro vivo interesse di cercare, in qualità di utilizzatori, metodi atti a ridurre le emissioni di sostanze nocive. Il motivo di questa collaborazione non è unicamente quello di badare alla buona immagine dell'impresa, ma di preoccuparsi sia della qualità dell'aria ambiente sui posti di lavoro, sia della lotta contro l'inquinamento ambientale da emissioni di sostanze nocive.

Sono state fatte esperienze positive e in parte sorprendenti durante la fase di equipaggiamento del macchinario messo a disposizione sul cantiere. In tutti i casi si dovette ricorrere a misure individuali e malgrado ciò è stato possibile montare i filtri entro i termini previsti. Il montaggio della maggior parte dei sistemi di filtraggio richiese meno di una giornata di lavoro, compresa l'installazione dell'apparecchiatura di sorveglianza dei filtri e quella di registrazione dei dati tecnici. I sistemi automatici di rigenerazione del bruciatore con i connessi aggregati accessori e del sistema di comando accoppiato al circuito elettrico del veicolo richiesero, nel nostro caso, un lavoro di messa in posa di 2-3 giorni che con la routine nel montaggio dello stesso tipo è senz'altro possibile ridurre sensibilmente.

Le prove sono tuttora in corso e si svolgono in perfetto accordo tra gli utilizzatori, i fabbricanti e gli esperti della Suva.

La registrazione dei dati tecnici si è rivelata oltremodo utile. Le misurazioni periodiche realizzate con i nuovi apparecchi di misura utilizzati per i nostri test sono già diventati un lavoro di routine.

In un solo caso è stato possibile risolvere in modo ottimale il problema della miscelazione del carburante con additivi grazie a un serbatoio speciale, messo a disposizione dell'utilizzatore, che permette di miscelare accuratamente l'additivo. In tutti gli altri casi la qualità della miscelazione dipende dall'affidabilità del macchinista ciò che può essere accettato esclusivamente nell'ambito di prove sperimentali. Per un'applicazione pratica degli additivi per carburante sono indispensabili impianti automatici di miscelazione da montare direttamente sul veicolo. Tutti e tre i produttori di additivi provvederanno a fornire tali installazioni ancora nel corso dei test.

È ancora troppo presto valutare l'efficacia dei filtri. Nella maggior parte dei casi i gradi di filtrazione previsti sono

stati non solo raggiunti ma anche mantenuti costanti su lunghi periodi d'esercizio. Le perdite di pressione sono in alcuni casi troppo elevate: secondo le indicazioni dei costruttori dovrebbe essere possibile ottenere l'indispensabile adattamento dell'impianto. Tenendo conto della sen-

sibilità dei motori diesel con turbocompressori si rivela assolutamente necessario ricorrere a un dispositivo di controllo automatico della contropressione dei gas di scappamento. I sistemi adottati finora sono soggetti a insudiciamento e non sono quindi abbastanza affidabili.

VERT – Prove reali sul posto (stato 30.10.96)

Bibliografia

1. Bollettino VERT no 1: Problemi, obiettivi, programma
2. Bollettino VERT no 2: Filtri per particelle
3. Bollettino VERT no 3: Misure di ventilazione al posto del trattamento dei gas inquinanti
4. SAE 960472, Trapping Efficiency depending on Particulate Size
5. SAE 960138, Passive Regeneration of Catalyst coated knitted Filter Diesel Particulated Traps
6. Konzept und Ergebnisse des Partikelfilter-Grossversuchs der Bundesrepublik Deutschland, UBA Berlin und TÜV Rheinland 12/94
7. Pieghevole Suva relativo al progetto VERT, Baumaschinenmesse Berna, marzo 1996

Abbreviazioni

AUVA	Allg. Unfallversicherungsanstalt/Autriche
BUCK	Buck Maschinenbau GmbH, D-Bondorf
CORNING	Corning Europa, D-Wiesbaden
DSI	Deutz Service International GmbH, D-Cologne-Deutz
ECS	Engine Control System Ltd., UK-Birkshire
EMD	Emissioni dei motori diesel
EMPA	Laboratorio federale di prova dei materiali e di ricerca

GFS	Gesellschaft für Strukturanalyse mbH, D-Aschen
HUG	Hug Engineering GmbH, CH-Weisslingen
LUBRIZOL	Lubrizol International Laboratories, UK-Derby
3M	3M Europe, D-Neuss
MAC	Concentrazione massima sui posti di lavoro
NGK	NGK Europe GmbH, D-Eschborn
OFEFP	Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage
PLUTO	Chemische Betriebe Pluto, D-Herne
RHÔNE-POULENC	Rhône-Poulenc, projet "Diesel propre", F-Courbevoie
SAE	Society of Automotive Engineers
SHW	Schwäbische Hüttenwerke GmbH, D-Wasseraffenango
Suva	Istituto nazionale svizzero di assicurazione contro gli infortuni
TBG	Tiefbau-Berufsgenossenschaft
UFAFP	Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio
UNIKAT	Unikat AB, S-Malmö
VERT	Verminderung der Emissionen von Realmaschinen im Tunnelbau (Riduzione delle emissioni prodotte da macchinari già in dotazione nella costruzione di gallerie)

Direzione del progetto:

Studio d'ingegneria TTM, A. Mayer
Fohrhölzstr. 14b, CH-5443 Niederrohrdorf
Tel. CH-0041 (56) 496 64 14, Fax 0041 (56) 496 64 15

Commissione dei committenti del progetto:

AUVA: Signor Schuster A/0043(3842)24317
TBG: Prof. D. Kieser D/0049(761)73135
Suva: W. Scheidegger CH/0041(41)419 50 60

Ordinazione dei bollettini:

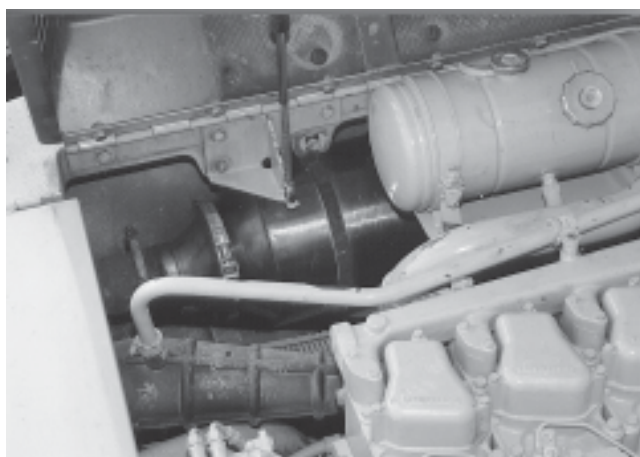
AUVA: Allgemeine Unfallversicherungsanstalt
Abteilung für Unfallverhütung und Berufskrankheitenbekämpfung
Adalbert-Stifterstr. 65, A-1200 Vienna (Signora Radosztics)
Tel. 0222-33111-418, Fax. 0222-33111-347

Numero di ordinazione: AUVA-Report 4/2

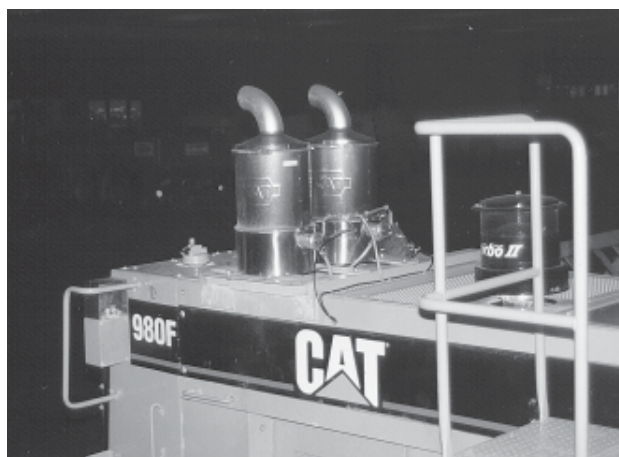
TBG: Tiefbau-Berufsgenossenschaft
Am Knie 6 D-81241 Monaco di Baviera
Tel. (089)8897-505, Fax. (089)8897-494

Suva: Istituto nazionale svizzero di assicurazione contro gli infortuni
Servizio centrale clienti, casella postale, 6002 Lucerna
Tel. 041/419 58 51, Fax. 041/419 59 17

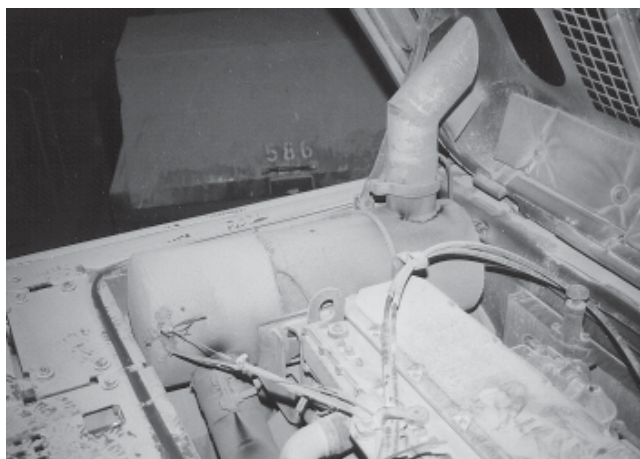
Esempi di montaggio di filtri antiparticelle su macchine edili in azione su cantieri nell'ambito del progetto VERT



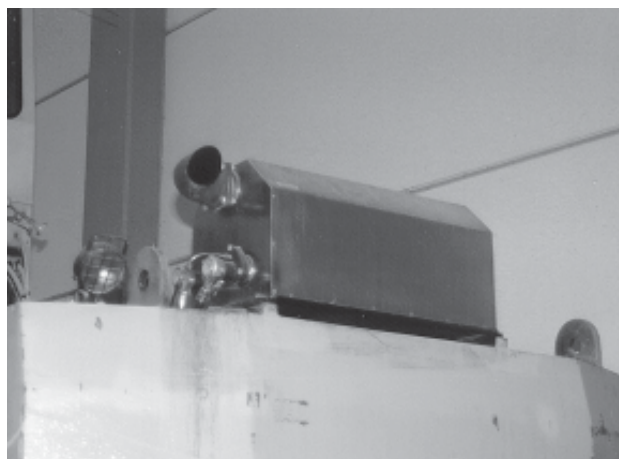
Filtro ECS su bagger a cingoli montato al posto del silenziatore del tubo di scappamento.



Filtro UNIKAT su caricatrice CAT 980F.



Filtro BUCK su bagger gommato CAT 320L al posto del silenziatore del tubo di scappamento.



Filtro UNIKAT montato sul contrappeso del bagger gommato CAT 214B.



Filtro SHW su bagger cingolato CAT 330 al posto del silenziatore del tubo di scappamento.



Filtro KHD/DSI su bagger cingolato Liebherr 942. Per le prove sul cantiere è stata tollerata la limitazione della visuale del macchinista. Nel caso normale il filtro dovrebbe essere montato sotto il cofano del motore.



Figura 1: Caricatrice su ruote 966 F provvista di un filtro antifuliggine DSI, in azione su un cantiere in condizioni di lavoro difficili.