

# Per il nuovo Traforo solo tecnologie all'avanguardia

*L'adeguamento degli impianti, in particolare quello di ventilazione, ha assunto un ruolo centrale nel progetto di ripristino del tunnel del Monte Bianco. Presentiamo succintamente le principali caratteristiche di sicurezza del "nuovo" Traforo del Monte Bianco.*

Vincenzo Pozzi, Marco Bettelini



**D**alla messa in servizio nell'anno 1965 il Traforo del Monte Bianco non ha praticamente conosciuto incidenti di rilievo fino al tragico 24 marzo 1999, quando l'incendio di un automezzo pesante ha provocato il decesso di 39 persone.

Si tratta della maggiore catastrofe registrata in una galleria stradale. Le Strade (fascicolo di Gennaio-Febbraio 2001) ha dedicato un ampio servizio a questo avvenimento.

Una ricostruzione dettagliata con un'analisi approfondita sono riportate in uno studio dell'ing. D. Lacroix al recente convegno Safety in Road and Rail Tunnels di Madrid.

L'intensissima attività di ripristino ed adeguamento, che ha richiesto quasi tre anni, è stata incentrata in particolare sull'impiantistica, che è stata integralmente rifatta ed adeguata allo stato attuale della tecnica. Alla vigilia della rimessa in servizio del traforo, prevista per la fine dell'anno in corso, questo articolo si ripropone di presentare nei suoi elementi essenziali in nuovo volto del Traforo del Monte Bianco. Al completamento dei lavori in corso esso sarà uno dei tunnel tecnologicamente più avanzati e sicuri del mondo.

## PROGRAMMA LAVORI

Prima della scelta del progettista e dell'inizio della progettazione vera e propria, una serie di studi concettuali è stata effettuata dal raggruppamento italo-svizzero CET-GEOS-HBI. Questa fase doveva rivelarsi estremamente complessa e laboriosa ed ha potuto essere completata solo alla fine dell'anno 1999, con il completamento del Programma Lavori per il ripristino ed adeguamento del traforo. Dopo l'approvazione definitiva da parte della Commissione Intergover-

nativa di Controllo del Traforo del Monte Bianco, il 14 dicembre 1999, questo documento programmatico è divenuto il punto di riferimento centrale per tutte le attività di progettazione.

I punti salienti di questo programma possono essere sintetizzati come segue:

- Nuove procedure di esercizio volte a garantire una prevenzione ottimale.
- Impiantistica di avanguardia per il pronto rilevamento di situazioni anomale e principi di incendio.
- Impiantistica estremamente avanzata per la gestione di situazioni pericolose e la comunicazione con gli utilizzatori in caso di emergenza. Gli impianti più avanzati sono senza dubbio quelli di ventilazione e di gestione informatizzata dell'opera.
- Realizzazione di 37 nuovi rifugi, alla distanza di 300 m lungo il piedritto Italia-Francia, con possibilità di evacuazione dei rifugi in caso di incendio di notevoli dimensioni che dovesse sfuggire al controllo delle squadre di pronto intervento.
- Piani di intervento a diversi livelli, con personale professionista di pronto intervento stazionato presso le due entrate della galleria ed in una speciale stazione situata al centro della galleria.

## PROGETTAZIONE ED AGGIUDICAZIONE

All'inizio dello scorso anno il contratto principale per la progettazione e per la direzione lavori è stato affidato al raggruppamento franco-italiano SCETAURROUTE-SPEA. L'elaborazione ed approvazione dei progetti è avvenuta approssimativamente nel primo semestre dell'anno 2000. Nell'estate-autunno dello stesso anno i principali contratti per l'esecuzione dei lavori hanno potuto essere aggiudicati. Mentre le opere civili sono state realizzate da ciascuna Concessionaria con contratti separati, sulla base di progetti comuni, tutti i principali lavori impiantistici sono stati oggetto di una procedura di appalto europea che ha condotto per ogni lotto ad un'aggiudicazione comune, seppure con contratti separati. Questo garantisce la completa uniformità dell'opera, essenziale per garantirne il perfetto funzionamento ed agevolare la manutenzione. Ricordiamo tra i contratti principali quello concernente l'energia, i sistemi di gestione e le reti, del valore complessivo di oltre 65 MEuro, e la ventilazione, 25 MEuro.

## ESIGENZE IN TERMINI DI IMPIANTISTICA

Il Traforo del Monte Bianco era alla sua messa in servizio, nell'estate 1965, non solo la galleria stradale più lunga del mondo, ma anche un'opera unica, sia dal punto di vista civile che da quello impiantistico. Pur se superata in lunghezza da altre gallerie di realizzazione più recente, lo specialista è ancora oggi stupito dall'elevata qualità delle soluzioni adottate per risolvere problemi in parte unici. L'impianto ha comunque risentito, nonostante gli investimenti importanti e continui, del trascorrere degli anni.

Solo dopo l'incendio del 24 marzo 1999 si è potuto adeguare radicalmente quest'opera all'evoluzione dello stato dell'arte, in particolare dal punto di vista della gestione e del sistema di ventilazione ed estrazione fumi. La problematica fondamentale è comune a tutte le gallerie: tra le opere di vecchia data e quelle di realizzazione più recente esiste un divario tecnologico enorme, che si rispecchia in livelli di sicurezza a tratti estremamente eterogenei.

Le esigenze in termini di impiantistica possono essere sintetizzate come segue:

- Misure preventive (segnaletica, illuminazione, regolamento di circolazione ecc.).
- Misure volte ad un rilevamento molto rapido di situazioni pericolose ed in particolare di principi di incendio.
- Misure attive e passive di protezione degli utilizzatori, in particolare il nuovo sistema di gestione informatizzato ed un impianto di ventilazione di concezione estremamente moderna.
- Misure a livello di messa in sicurezza degli utilizzatori e di pronto intervento.

L'esigenza di fondo può essere riassunta, in questa come in tutte le gallerie, nella necessità assoluta di rilevare situazioni anomale e mettere in opera la reazione più adeguata in tempi estremamente brevi. Un ulteriore aspetto, spesso trascurato, è quello dell'informazione degli utenti e della possibilità di comunicazione con essi, per le quali sono state adottate soluzioni molto avanzate.

Le indicazioni di fondo sono state basate sulle richieste formulate dalla Commissione Binazionale di Inchiesta dopo l'incendio del marzo 1999.

Occorre comunque rilevare come queste richieste siano state superate sotto diversi aspetti, come per esempio per quanto riguarda la capacità di estrazione in caso di incendio. Nonostante l'esigenza minima fosse di 110 m<sup>3</sup>/s su una lunghezza di 600 m, un valore di ben 150 m<sup>3</sup>/s è stato adottato. Ricorderemo ai non iniziati ai segreti dell'aerodinamica che questa modifica implica in prima approssimazione il raddoppio della potenza del sistema di ventilazione. In termini di sicurezza il miglioramento è estremamente importante.

Gli elementi più importanti adottati verranno illustrati brevemente nei prossimi capitoli.

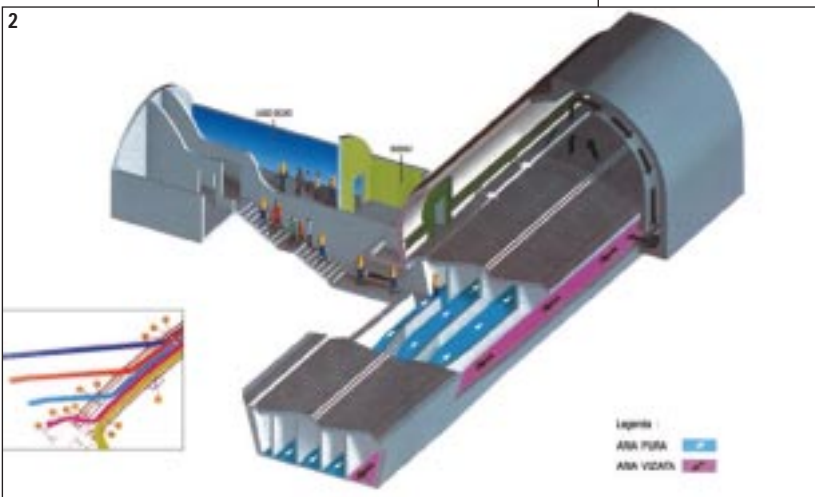
## PREVENZIONE, TELESORVEGLIANZA E RILEVAMENTO DI SITUAZIONI PERICOLOSE

Misure preventive molto importanti sono state adottate, in particolare per quanto riguarda il regolamento di circolazione, che prevede una velocità massima di 70 km/h (precedentemente 80 km/h), ma soprattutto un'interdistanza minima tra i veicoli di 150 m. Il traffico di bus è soggetto a limitazioni ulteriori. Una novità particolarmente interessante a livello di prevenzione riguarda la verifica automatica della temperatura dei veicoli pesanti in entrata, che permetterà di rilevare automaticamente aumenti anormali di temperatura, ed impedirà quindi l'entrata in galleria di veicoli con principi di incendio. Ricordiamo che il trasporto di merci pericolose non è consentito.

In caso di incendio, la reazione deve essere estremamente rapida. Ricordiamo a questo proposito due dati. La

TAB. 1 LE NUOVE CARATTERISTICHE DI SICUREZZA DELLA GALLERIA

<i>Impianti di sicurezza e di esercizio</i>
Gestione tecnica centralizzata di tutti gli impianti
Sistemi raffinati di rilevamento incendi o altre situazioni pericolose
Sistema di estrazione fumi fortemente migliorato e potenziato (116 nuove bocche di aspirazione, 76 jet fans, 4 ventilatori relais) 37 nuovi rifugi, ogni 300 m, con possibilità di evacuazione attraverso i canali per l'aria fresca
3 nuovi garages in prossimità dell'imbocco italiano
Nicchie di sicurezza ogni 100 m, dotate di telefono SOS, ed estintore
Nicchie antincendio ogni 150 m
<i>Piano di informazione degli utenti</i>
Informazioni all'entrata della galleria
Pannelli a messaggio variabile ogni 600 m
Diffusione di messaggi radio
Comunicazione video/voce con gli utenti nei rifugi
<i>Sistemi di sicurezza attivi</i>
Nuovo regolamento di circolazione
Rilevamento termometrico sui mezzi pesanti
<i>Organizzazione dei mezzi di soccorso</i>
Squadre di soccorso formate da pompieri professionisti ai due imbocchi ed in centro al tunnel con mezzi speciali
Piano di soccorso binazionale
<i>Struttura di gestione</i>
Costituzione di una struttura unica di gestione (GEIE), operante per conto delle due Società Concessionarie



potenza sviluppata da un incendio, dunque l'energia e la quantità di gas pericolosi sprigionata, non è costante, ma cresce, dopo un periodo di "incubazione" della durata di qualche minuto, in modo estremamente rapido. La potenza massima di incendio viene spesso raggiunta in un intervallo dell'ordine di 5-10 minuti. Ricordiamo inoltre che la velocità di propagazione della coltre fumosa in una galleria come quella del Monte Bianco è spesso estremamente rapida, e può raggiungere e superare i 5 m/s. Questo dato può essere rapportato alla velocità tipica di fuga di un utente di galleria, dell'ordine di 1-2 m/s, e a quella di un atleta di punta, dell'ordine di 5-10 m/s. Una misura particolarmente innovativa ed efficace è costituita dall'installazione di barriere ogni 600 m, che possono essere abbassate in caso di incendio, per impedire agli utenti di avvicinarsi alla zona pericolosa.

Nell'ottica della riduzione per quanto possibile dei tempi di intervento, il rilevamento ed una prima valutazione estremamente rapidi della situazione rivestono un'importanza fondamentale. Il sistema di telesorveglianza e rilevamento di situazioni pericolose è basato sui seguenti elementi:

- Sistema di sorveglianza e rilevamento video estremamente avanzato, con rilevamento automatico del rallentamento o dell'arresto di veicoli.

**Vincenzo Pozzi,**  
Ingegnere,  
Amministratore  
Delegato della R.A.V.  
SpA, direttore  
Tecnico della SITMB.  
Marco Bettelini,  
Ingegnere-HBI-SITMB.

1. Il Traforo del Monte Bianco dopo l'incendio del 24 marzo 1999.

2. Schema di evacuazione dai luoghi sicuri.

- Nuovo tipo di rilevatore lineare di aumenti di temperatura, il FibroLaser II.
- Analisi computerizzata di indicatori indiretti di incendio, quali i valori di opacità.
- Rilevamento di principi di incendio per i veicoli pesanti all'entrata del traforo ("portale termografico").

## COMUNICAZIONE CON GLI UTENTI

Il corretto comportamento degli utenti in caso di emergenza costituisce uno degli elementi di sicurezza più importanti. Molto lavoro può essere fatto a livello di informazione preventiva, per esempio con la distribuzione di volantini all'entrata delle maggiori gallerie. Occorre notare a questo proposito che gran parte del traffico attraverso il traforo è costituito da utilizzatori regolari con abbonamento annuale.

Un elemento importante è comunque costituito dalla comunicazione con gli utenti, tanto a livello preventivo (ad es. annunciando preventivamente lavori od altri intralci alla circolazione, oppure situazioni anomale all'uscita della galleria, quale nebbia o neve) quanto a livello di informazione sul comportamento da tenere in situazioni di emergenza. In caso di incidente senza incendio è di regola raccomandabile spegnere il motore e restare in attesa nei veicoli. Per contro, in ca-



**3. Entrata di un nuovo rifugio e rappresentazione schematica del principio di evacuazione e del sistema di ventilazione. In basso a destra: nuova apertura per l'estrazione fumi.**

**4. Filo di Arianna e segnaletica. Così si presenterà il Traforo del Monte Bianco all'utilizzo in transito. Si notino le barriere che impediranno agli utenti di avvicinarsi alla zona dell'incendio.**

so di incendio i veicoli che hanno già oltrepassato il punto critico possono essere evacuati normalmente, mentre gli occupanti dei veicoli bloccati dalle fiamme devono mettersi al più presto in sicurezza nei rifugi. Le modalità principali di comunicazione messe in atto nel Traforo del Monte Bianco per raggiungere gli obiettivi di sicurezza enunciati sono:

- Pannelli a messaggio variabile ogni 600 m.
- Pannelli a messaggio variabile di dimensioni più ridotte e barriere per arrestare i veicoli in prossimità dei rifugi.
- Impianto di radiodiffusione con possibilità di trasmettere messaggi di servizio e di emergenza.
- Eventuale distribuzione di ricevitori portatili a basso costo, formato carta di credito, già disponibili come prototipo.
- Nicchie di sicurezza con telefono SOS, pulsante d'allarme ed estintori ogni 100 m.
- Impianto suono/video in ogni rifugio.

## IMPIANTO DI VENTILAZIONE

L'elemento cardine per garantire la sicurezza passiva del traforo è costituito dall'impianto di ventilazione ed estrazione fumi, che ha richiesto gli sforzi concettuali più importanti in fase di preparazione del Programma Lavori.

## Criteria di adeguamento e metodologia

Tra le 41 raccomandazioni formulate dalle commissioni di inchiesta quelle concernenti l'impianto di ventilazione in caso di incendio rivestono un ruolo molto centrale. Tra gli elementi principali rilevati occorre menzionare:

- Aumento del numero di bocchette di aspirazione, miglioramento della loro configurazione ed incremento della capacità di estrazione fumi. Un'aspirazione locale sufficientemente forte impedisce la propagazione dei fumi in caso di incendio. Ricordiamo che l'incendio di un veicolo leggero sviluppa potenze termiche dell'ordine di 2-3 MW, quello di un veicolo pesante carico dell'ordine di 30 MW, mentre in presenza di merci pericolose si possono raggiungere ed eventualmente superare i 100 MW. La quantità di fumi prodotta dall'incendio di veicolo pesante può essere valutata tra gli 80 ed i 300 m<sup>3</sup>/s. Nel caso particolare il rapporto della Commissione di Inchiesta chiedeva un'aspirazione minima di 110 m<sup>3</sup>/s su una lunghezza di 600 m.
- Creazione della possibilità di controllare la velocità longitudinale dell'aria in galleria. Velocità longitudinali troppo elevate, superiori a ca. 2 m/s, riducono l'efficacia del sistema di estrazione fumi e tendono a ridurre la tendenza naturale dei fumi caldi a concentrarsi nella parte superiore della galleria ("stratificazione"), riducendo dunque il livello di sicurezza degli utilizzatori. L'effetto principale sulla velocità longitudinale nel Traforo del Monte Bianco è, oltre alla ventilazione ed al traffico, il differenziale di pressione atmosferica tra le due entrate. I valori abituali sono dell'ordine di 100-20 Pa, ma sono stati misurati valori fino a 1000 Pa. Ricordiamo che i valori usuali per gallerie di lunghezza fino a qualche km sono dell'ordine di 10 Pa e sono dovuti principalmente al vento.
- Aumento del livello di automazione del sistema. Per garantire tempi di reazione estremamente ridotti la prima reazione in caso di emergenza deve essere almeno parzialmente automatica, onde ridurre il "fattore umano".

Il sistema di ventilazione, altamente funzionale alla messa in servizio, non aveva potuto essere interamente adeguato all'evoluzione del traffico e delle esigenze di sicurezza. Il suo funzionamento era comunque stato del tutto soddisfacente per 34 anni. L'analisi del problema ha richiesto nel

quadro dell'elaborazione del Programma Lavori l'utilizzo di moderne tecniche di simulazione numerica, in particolare per quanto riguarda il controllo della velocità longitudinale. Diverse soluzioni sono state proposte ed analizzate in termini di funzionalità, costi e tempi di realizzazione prima di scegliere la soluzione finale. Le diverse alternative e la metodologia di studio sono descritte succintamente in M. Bettelini, R. Brandt, I. Riess: Progress in Tunnel Ventilation – The Mont-Blanc Tunnel. Convegno AITES/ITA Milano, 10 – 13 June 2001.

## Il nuovo sistema di ventilazione in caso di incendio

Gli elementi fondamentali del nuovo sistema di ventilazione sono i seguenti:

- Controllo della velocità longitudinale dell'aria e della propagazione dei fumi per mezzo di 76 acceleratori. Questo permetterà di ridurre la velocità longitudinale dell'aria in prossimità dell'incendio a livelli accettabili in un intervallo dell'ordine di 5 minuti.
- Nuova concezione del sistema di estrazione fumi, basato sulla realizzazione di bocchette ogni 100 m, migliorate strutturalmente e dotate di serrande telecomandabili individualmente.





- Aumento della capacità del sistema di aspirazione a 150 m<sup>3</sup>/s (contro i 110 richiesti nel Rapporto comune delle commissioni d'inchiesta tecnica francese ed italiana sull'incendio avvenuto il 24 marzo 1999 nella galleria stradale del Monte Bianco. Giugno 1999). Questo ha richiesto la sostituzione dei 6 ventilatori di estrazione delle due centrali di ventilazione e la realizzazione nel canale di estrazione fumi di 4 stazioni "relais" intermedie, allo scopo di limitare le enormi differenze di pressione.
- Il canale di estrazione fumi, in precedenza interrotto nella parte centrale, è ora continuo. Questo permette di estrarre fumi utilizzando entrambe le centrali di ventilazione, indipendentemente dalla posizione dell'incendio.

### Ventilazione dei rifugi

I rifugi sono ventilati per mezzo di appositi ventilatori che estraggono l'aria fresca dai canali di ventilazione. In caso di incendio l'apporto di aria fresca viene ridotto a circa il 30% per non alimentare l'incendio. In questo caso la certezza assoluta che anche i rifugi situati in prossimità dell'estremità dei canali di ventilazione vengano ventilati in modo adeguato e protetti completamente dalla penetrazione dei fumi viene raggiunta attingendo aria fresca dal canale adiacente a quello che alimenta la sezione in questione. Per la parte centrale si è adottata una soluzione più onerosa ma estremamente sicura, alimentando i rifugi centrali attraverso un lungo tubo installato all'interno dei canali di ventilazione.

### Funzionamento normale

La ventilazione semitransversale in caso di funzionamento normale è rimasta essenzialmente invariata, seppure con un aumento importante della potenza disponibile. L'apporto di aria fresca è garantito da 4 ventilatori radiali per ogni entrata (ai quali si aggiunge un ventilatore di riserva in ogni centrale), che alimentano ciascuno 1/8 della galleria, attraverso canali realizzati al di sotto del piano stradale ed un sistema di bocchette di distribuzione situate nella parte inferiore del piedritto, con uno spaziamento di 10 m.

### Sistema di gestione

Per la gestione corrente si utilizzerà una sola sala di comando, mentre una seconda, identica, resterà a disposizione in caso di necessità.

Un sistema informatizzato di gestione (CGT) estremamente avanzato permette il monitoraggio e controllo di ogni singolo impianto e sistema.

La GTC è costituita essenzialmente da una serie di ordinatori collegati fra di loro, con gli impianti e con un numero enorme di sensori attraverso una rete informatica basata su fibra ottica.

Il sistema è altamente ridondato a tutti i livelli, dall'alimentazione (doppia, ENEL ed EDF, su tutto il traforo e le piattaforme), passando dalle singole componenti fino ad arrivare al raddoppio della sala comando, con realizzazione di una sala principale ed una sala di soccorso. La programmazione e verifica della GTC sono state probabilmente le attività più impegnative e difficili in fase di progettazione e di realizzazione. Questo sistema altamente sofisticato è in grado di identificare rapidamente situazioni potenzialmente pericolose e di proporre e realizzare in modo "intelligente" - grazie ad una programmazione che ingloba le esperienze di alcuni dei migliori specialisti mondiali di opere sotterranee - la reazione più appropriata di fronte a molteplici scenari di emergenza.

### PROCEDURE E PIANI DI INTERVENTO

Ad un'impiantistica estremamente avanzata corrisponde un'organizzazione raffinata della gestione e dell'intervento. Ci limiteremo, per ragioni di spazio, a men-

zionarne gli elementi principali:

- Nuovo regolamento di circolazione.
- Postazioni permanenti di intervento alle due entrate ed al centro del traforo, formate da pompieri professionisti equipaggiati con modernissimi veicoli antincendio tipo Janus 4000.
- Definizione precisa di diversi livelli di intervento, sia interni che con l'intervento di servizi esterni, con un piano di soccorso binazionale che regola la collaborazione con i servizi di pubblico soccorso italiani e francesi.

#### TAB. 2 CARATTERISTICHE PRINCIPALI DELL'IMPIANTO DI VENTILAZIONE

5 ventilatori radiali (di cui uno di riserva) in ogni centrale per l'immissione di aria fresca. Caratteristiche unitarie: portata 82.5 m<sup>3</sup>/s, pressione totale 4'900 - 8'000 Pa, potenza elettrica 660 - 1'040 kWe.

3 ventilatori di estrazione per ogni centrale. Caratteristiche unitarie: portata 63 m<sup>3</sup>/s, pressione totale 7'100 Pa, potenza elettrica 700 kWe, resistenza termica a 400 °C per 1 ora.

4 ventilatori relais disposti a distanze regolari nel canale di estrazione fumi. Caratteristiche unitarie: portata 90 m<sup>3</sup>/s, pressione totale 2'750 Pa, potenza elettrica 386 kWe, resistenza termica a 400 °C per 1 ora (raffreddamento ad aria).

76 acceleratori in volta per il controllo della velocità longitudinale. Caratteristiche principali: spinta statica 600 N, potenza elettrica 27 kWe, resistenza termica a 200 °C per 2 ore e 250 °C per 1.5 ore.



5. I nuovi ventilatori di estrazione nella centrale italiana durante la fase finale di montaggio.

### INVESTIMENTI

Dopo la fase di studio concettuale e progettazione, le due Società concessionarie, francese e italiana, stanno realizzando in un arco di tempo estremamente breve investimenti complessivi per oltre 250 milioni di Euro.

Solo circa il 20% dell'investimento totale concerne la riparazione dei danni dovuti all'incendio. La parte maggiore servirà all'ammodernamento dell'impianto. Un altro dato interessante riguarda la ripartizione dei fondi tra lavori civili ed impiantistici, decisamente atipici per un'opera sotterranea. Ben il 60% dell'investimento totale concerne gli impianti. E proprio l'aspetto impiantistico rende il Traforo del Monte Bianco senza dubbio una delle opere tecnologicamente più avanzate del mondo, come già lo era stato nell'ormai lontano 1965, alla sua messa in servizio.

### CONCLUSIONI

I lavori in corso di completamento porteranno la galleria ad un livello tecnologico estremamente elevato, grazie in particolare ad un sistema di gestione computerizzato estremamente avanzato e ad una ventilazione in caso di incendio raffinata e potente. Il "nuovo" Traforo del Monte Bianco garantirà dunque agli utenti un livello di funzionalità e di sicurezza estremamente elevati.

L'incendio del 24 marzo 1999 nel Traforo del Monte Bianco ha provocato un'evoluzione estremamente importante e durevole dello stato dell'arte per quanto riguarda la sicurezza delle gallerie. Questa nuova consapevolezza si riflette tra l'altro su nuove direttive nazionali sviluppate recentemente da molti paesi. ■