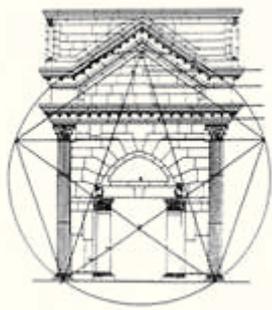


AUTOSTRADA A10 GENOVA - VENTIMIGLIA VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO

APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO "Fire Engineering" (DM 09/05/2007)



PROGETTATO:
POLIS CONSULTING S.r.l.
PROPENTA INGEGNERIA S.r.l.

Relatori:

Ing. Ciro Antonio Cannelonga
Ing. Alessandro Leonardi

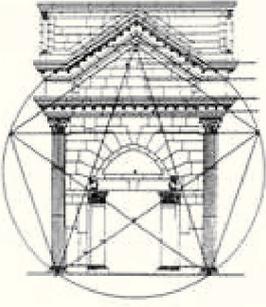


COMMITTENTE:

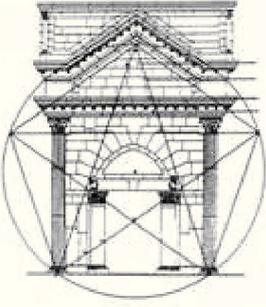
Documento	1	6	P	F	0	9	2	9	A	L	0	0	0	2
-----------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Relazione Tecnica secondo modalità DM 09/05/2007

REV	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data
0	Ing. G. Longobardo	10/11/2016	Ing. A. Leonardi	10/11/2016	Ing. A. Leonardi	14/11/2016	Ing. C. Cannelonga

	<p>AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO DM 09/05/2007</p>	<p><i>Documento:</i> 16PF0929AL002</p>
		<p><i>Pag. 2/45</i></p>

1	Premesse.....	3
2	Descrizione dell'opera	3
2.1	Inquadramento urbano.....	3
2.2	Descrizione funzionale dell'opera	4
3	Individuazione degli scenari di incendio di progetto	6
3.1	Incendio di progetto utilizzato per le simulazioni fluidodinamiche.....	7
3.2	Scenario di incendio	7
4	Modello di calcolo scelto	8
4.1	Modello fluidodinamico utilizzato	8
4.1.1	Origine e caratteristiche dei codici di calcolo utilizzati.....	9
4.1.2	Documentazione a corredo dei modelli utilizzati	9
4.1.3	Verifica della sensibilità della mesh.....	9
4.1.4	Dominio computazionale	10
4.2	Modellazione geometrica delle strutture	11
4.2.1	Modellazione 3D.....	12
4.3	Riproduzione dell'impiantistica, della sensoristica e della strumentazione virtuale	13
4.3.1	Impianto di ventilazione.....	13
4.3.2	Piani di misura	14
5	Risultati ottenuti dalla simulazione.....	14
5.1	Evoluzione dell'incendio	14
5.2	I livelli di temperatura	15
5.3	I livelli di visibilità	15
5.4	Efficienza delle aperture di evacuazione dei fumi	15
6	Conclusioni	21
7	Risultati numerici – Grafici, immagini 3D e piani di misura.....	21
7.1	Elenchi immagini	21

	<p>AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO DM 09/05/2007</p>	<i>Documento:</i> 16PF0929AL002
		Pag. 3/45

1 Premesse

L'incarico professionale affidato alla scrivente è mirato alla verifica dei campi termici e dei livelli di visibilità all'interno della copertura fonica nel caso di incendio uguale a quello di progetto.

Tale verifica è stata svolta mediante modellazione fluidodinamica di incendio, prendendo in considerazione un incendio di progetto con magnitudo massima pari a 30 MW e velocità di crescita ultraveloce (1 MW in 75 s). Si è ipotizzato che l'incendio possa originarsi accidentalmente da un mezzo pesante in transito all'interno della copertura fonica.

Di seguito si riporta una breve descrizione dell'opera e la sua articolazione su più piani.

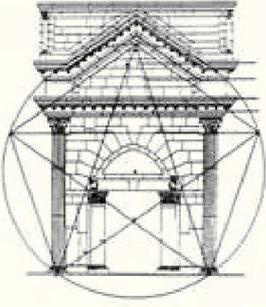
2 Descrizione dell'opera

2.1 Inquadramento urbano

Il viadotto Palmaro, oggetto della presente relazione, appartiene al tratto di Autostrada A10 Genova - Ventimiglia, compreso tra le chilometriche 10+025 e 10+605, in cui la stessa attraversa tagliandolo in due l'abitato di Palmaro di Pra', nel territorio comunale di Genova. Per questo tratto sono previsti degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore. L'intervento prevede la realizzazione di una schermatura antirumore a copertura dell'Autostrada A10, con la messa in opera di una copertura antifonica della stessa tipologia già impiegata nell'ambito del risanamento acustico della zona genovese lungo le autostrade A10, A7 ed A12. Lungo la carreggiata in direzione ovest l'intervento di copertura è previsto indicativamente tra via Borghetto Superiore e la spalla ovest del viadotto Palmaro, quest'ultimo opportunamente adattato per permettere l'alloggiamento della copertura antifonica anche sopra il viadotto esistente.

Lungo la carreggiata est la copertura è prevista dallo scavalco di via Sorgenti Sulfuree ad ovest ed a ridosso del viadotto Branega ad Est. L'intervento nel suo complesso è completato dall'installazione di barriere antirumore che permettono di allacciare la copertura antifonica alle barriere già installate nei precedenti interventi, sia lato est sul viadotto Branega e sia lato ovest in corrispondenza dello svincolo di Voltri.

Le due carreggiate autostradali esistenti nel tratto risultano sfalsate altimetricamente. In particolare la carreggiata ovest che dal viadotto Branega corre in direzione Ventimiglia risulta ad una quota relativa di 4-5 m più alta della carreggiata est. Tra le progressive 10+291 e 10+541 la carreggiata ovest scavalca in viadotto la carreggiata est, fino a sovrapporsi

	<p style="text-align: center;"> AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO DM 09/05/2007 </p>	<p style="text-align: right;"> <i>Documento:</i> 16PF0929AL002 </p>
		<p style="text-align: right;"> Pag. 4/45 </p>

completamente ad essa per poi separarsi nuovamente al termine dell'opera medesima.

All'interno dei 600 m circa di intervento, l'infrastruttura esistente presenta una casistica di sezioni trasversali tipologiche estremamente varia:

1. Sezione a carreggiate sfalsate almetricamente e separate;
2. Sezione a carreggiate sfalsate e parzialmente compenstrate con la carreggiata ovest in viadotto;
3. Sezione a carreggiate sfalsate e completamente sovrapposte con la carreggiata ovest in viadotto.

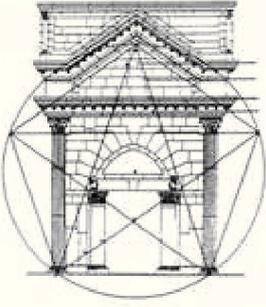
L'intervento previsto in progetto ha l'obiettivo di risanare acusticamente il tratto in argomento, collegandosi agli interventi già eseguiti lungo la A10 sia in direzione Savona e sia in direzione Genova, così da "chiudere" gli interventi acustici lungo l'intero asse autostradale.

2.2 Descrizione funzionale dell'opera

La schermatura acustica in carreggiata ovest prevede una copertura totale dell'asse autostradale nel tratto compreso tra le progressive 10+108 e 10+533, ossia fisicamente tra l'inizio del muro (lato Genova) che separa l'A10 dalla via Borghetto Superiore e fino alla sezione in corrispondenza della passerella pedonale di scavalco della carreggiata est. La copertura fonica in carreggiata ovest ha quindi uno sviluppo complessivo pari a 425 metri.

In carreggiata est la copertura totale risulta compresa tra le progressive 10+566 e 10+080, ossia tra la fine dello scavalco dell'A10 sopra la via alle Sorgenti Sulfuree (coprendo nel primo tratto sia la carreggiata est sia parte della rampa di immissione in direzione est dello svincolo di Voltri) e fermandosi circa 55 metri prima del viadotto Branega in direzione Genova (lo studio acustico ha evidenziato come l'ulteriore allungamento della copertura fonica risultasse inefficace nei confronti di ulteriori mitigazioni del clima acustico).

La copertura fonica in carreggiata est ha quindi uno sviluppo complessivo pari a 490 metri. L'intervento di risanamento acustico è infine completato, sia in direzione Savona sia in direzione Genova, dall'installazione di una serie di barriere antifoniche poste in corrispondenza dei cigli esterno dell'autostrada, e per quanto riguarda la direzione Savona anche con l'installazione di una barriera antifonica in spartitraffico. La tipologia di copertura

	<p><i>AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA</i> <i>VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO</i> <i>APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO</i> <i>DM 09/05/2007</i></p>	<p><i>Documento:</i> 16PF0929AL002</p>
		<p><i>Pag. 5/45</i></p>

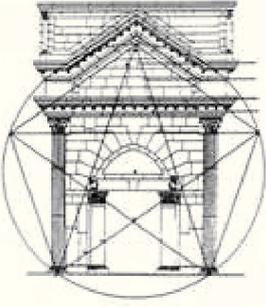
antirumore utilizzata seppur simile a quella di altre coperture già presenti su diversi tratti dell'Autostrada A7-A10 è stata contestualizzata alle geometrie del tratto autostradale in esame.

Tale struttura risulta infatti completa di copertura e montanti da entrambi i lati lungo la carreggiata Ovest che corre in viadotto, mentre è stata opportunamente modificata per la carreggiata Est che, essendo già parzialmente schermata superiormente, richiederà una superficie di copertura variabile e un allineamento di montanti da un solo lato (lato mare), la schermatura lato monte è stata realizzata attraverso una barriera acustica su cordolo che verrà fissata in testa alle nuovi travi previste per il montaggio della copertura in carreggiata ovest .

Con riferimento alla carreggiata Ovest, proprio al fine di limitare l'aggravio in termini di carichi sul viadotto esistente che la ospita, si è scelto di sostenere la copertura antirumore per mezzo di due coppie di travi longitudinali da montare ai lati dell'impalcato esistente, rimanendo da questo indipendenti. Le nuove travi longitudinali, replicando lo schema statico delle campate del viadotto, si appoggiano sul pulvino esistente delle pile a telaio o, laddove previsto, su un suo prolungamento sostenuto da un nuovo fusto geometricamente analogo alle pile esistenti. In corrispondenza della spalla ovest del viadotto Palmaro, al fine di risolvere l'interferenza geometrica che si genera tra l'appoggio in spartitraffico della copertura antifonica della carreggiata est e la scala esistente che permette la discesa dalla passerella pedonale e da qui il passaggio sotto l'impalcato del viadotto stesso, è prevista la dismissione temporanea dello scavalco pedonale.

Durante i lavori è prevista la demolizione della passerella pedonale e della scala di discesa posta a ridosso del viadotto Palmaro, con la successiva ricostruzione della medesima posizione ma con una struttura di scavalco della carreggiata integrata all'interno della copertura antifonica, e con la ricostruzione della scala di discesa con dimensioni compatibili con il posizionamento dei ritti verticali della futura copertura. In carreggiata Est, nel tratto in cui risulta planimetricamente coincidente con quella Ovest, è prevista una schermatura del rumore mediante pannelli antirumore solo verticali, sfruttando l'impalcato del viadotto come copertura.

Considerato che il viadotto è costituito da una serie di travate in struttura composta acciaio-calcestruzzo di luce caratteristica pari a circa 28 m, con soletta in cls precompresso di ampiezza pari a circa 12,6 m, il gestore dell'Autostrada ha ritenuto necessaria anche una valutazione del comportamento al fuoco delle strutture nel tratto in copertura fonica.

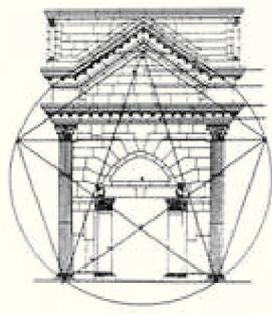
	<p style="text-align: center;">AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO <i>DM 09/05/2007</i></p>	<p style="text-align: right;"><i>Documento:</i> 16PF0929AL002</p>
		<p style="text-align: right;"><i>Pag. 6/45</i></p>

3 Individuazione degli scenari di incendio di progetto

Nell'ambito dell'analisi degli incendi più significativi per la struttura in oggetto, si è focalizzata l'analisi su quello che potrebbe generarsi da un camion in transito in copertura fonica e in particolare al centro della copertura fonica. In tale ambito, sono state scelte le condizioni più gravose per l'impatto che esse possano avere.

In particolare, si è fatta la seguente ipotesi accidentale:

1. L'incendio è generato accidentalmente da un camion in transito all'interno della copertura fonica che si ferma al centro della stessa. Il carico è in grado di generare una potenza massima di circa 30 MW.
2. A seguito della rivelazione dell'incendio vengono aperte, in modo automatico, i finestroni collocati nella parte alta della tamponatura verticale realizzata con pannelli antiacustici. Queste aperture, pur non essendo riconducibili a veri e propri evacuatori naturali di fumo e calore nel senso indicato dalla norma UNI EN 9494-1 in quanto disposti verticalmente, riescono a scaricare una notevole quantità di prodotti della combustione



3.1 Incendio di progetto utilizzato per le simulazioni fluidodinamiche

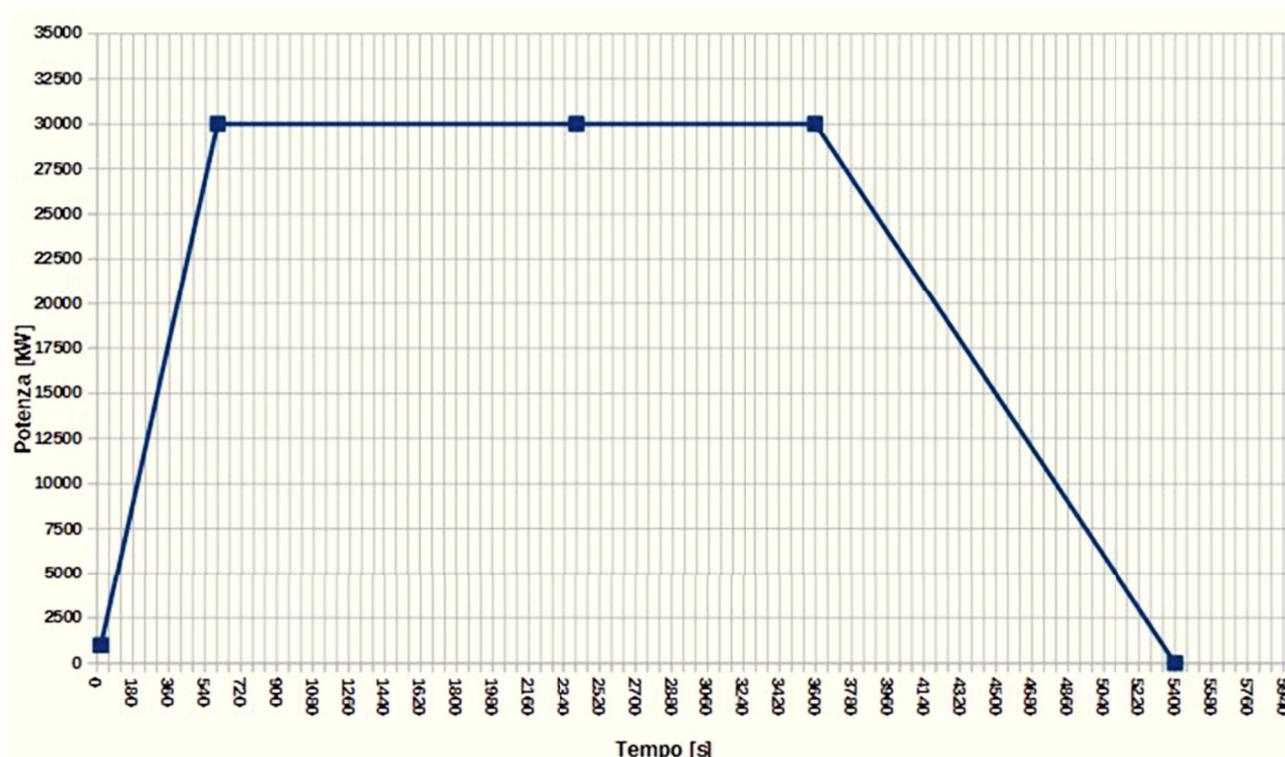


Illustrazione 1: Simulazione Incendio di progetto - HRR

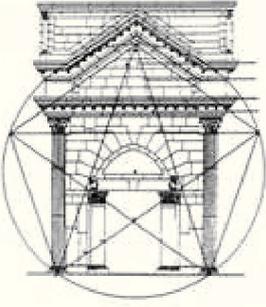
3.2 Scenario di incendio

Scenario di incendio

Lo scenario oggetto della presente, prevede che l'incendio si sviluppi al centro della copertura fonica Palmaro. La curva di progetto (Illustrazione 1) precedentemente descritta è stata attribuita alla superficie che rappresenta il camion. Il camion è stato rappresentato nella simulazione fluidodinamica come una superficie di 10,8 m X 2,7 m, è stato posto ad una quota di 0,4 m dal pavimento del piano mezzanino e ha una distanza di 0,9 m (distanza legata alla sensibilità della mesh) dal piano di calpestio.

Nella simulazione sono stati introdotti i seguenti piani di misura:

- piani di misura della temperatura e della visibilità sulla sezione longitudinale (in mezzeria a $y=5,4$ m) e a quota 1,5 m (quota legata alla sensibilità della mesh costituita di

	<p style="text-align: center;"> AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO DM 09/05/2007 </p>	<p style="text-align: right;"> <i>Documento:</i> 16PF0929AL002 </p>
		<p style="text-align: right;"> Pag. 8/45 </p>

celle da 0,3x0,3x0,3 m) dal piano di calpestio.

Nella simulazione fluidodinamica di incendio, sono stati previsti inoltre degli evacuatori naturali di fumo e calore (ENFC), posti sulle pareti laterali del viadotto. Gli evacuatori hanno dimensioni massima di circa 4,5 m x 1,2 m (ovvero Nr.3 moduli da 1,5 m x 1,2 m) e sono posti ad una certa distanza dall'imbocco e dall'uscita della copertura fonica ad intervalli di circa 15 m gli uni dagli altri.

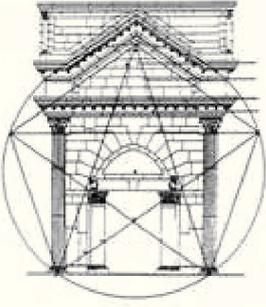
In totale sono stati ipotizzati 12 ENFC (per un totale di 35 moduli da 1,5 m x 1,2 m).

4 Modello di calcolo scelto

Come precedentemente accennato, le simulazioni fluidodinamiche di incendio implementate per il viadotto Palmaro hanno lo scopo di valutare l'efficienza dei sistemi di evacuazione naturale di fumo e calore previsti per copertura fonica in oggetto. In particolare si vuole verificare che le aperture naturali così come ipotizzate da progetto siano in grado di assolvere alla funzione di evacuatori naturali di fumo e calore e siano in grado di mantenere la copertura fonica sgombra dai fumi per un tempo compatibile con le procedure di esodo, senza compromettere la resistenza delle strutture e conseguentemente mettere a repentaglio la salvaguardia delle persone.

4.1 Modello fluidodinamico utilizzato

Le esigenze messe in luce hanno portato alla scelta del software FDS versione 5. Esso è basato su un solido e validato modello CFD specificamente sviluppato per simulare l'incendio. Il tutto ha consentito di modellare tridimensionalmente la struttura, calcolare l'evoluzione dei prodotti della combustione legata alloproscelto e poi valutare l'azione termica sulle strutture, definite in base alle loro caratteristiche salienti.

	<p style="text-align: center;"> AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO DM 09/05/2007 </p>	<p style="text-align: right;"> <i>Documento:</i> 16PF0929AL002 </p>
		<p style="text-align: right;"> Pag. 9/45 </p>

4.1.1 Origine e caratteristiche dei codici di calcolo utilizzati

Il software Fire Dynamics Simulator versione 5 è sviluppato dal VTT e dal NIST (National Institute of Standards and Technology) – Ente del Ministero del Commercio degli Stati Uniti. Esso, unico nel panorama dei software disponibili, è stato validato in oltre 25 anni di test ed è specificatamente indirizzato alla risoluzione di scenari d'incendio. Per tutti i dettagli e le caratteristiche di tale software si rimanda all'*Allegato 01*, che oltre ad approfondire le tematiche dei modelli scende nel particolare delle caratteristiche del software scelto per questo lavoro.

4.1.2 Documentazione a corredo dei modelli utilizzati

La documentazione a corredo del software utilizzato è disponibile presso il sito web www.nist.gov. Vale la pena citare inoltre la “Technical Reference and User’s Guide” pubblicata nel “VTT WORKING PAPERS 119” documento che consente di chiarire molto bene quali sono i limiti di applicazione e fornisce notizie sulle validazioni alle quali è stato sottoposto il software (sito web di riferimento: www.vtt.fi/proj/fdsevac/index.jsp).

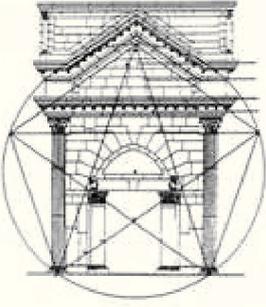
4.1.3 Verifica della sensibilità della mesh

Per le simulazioni si è studiata la dimensione ottimale della cella elementare, nella quale scomporre il dominio computazionale. La scelta è stata operata cercando di far convergere le esigenze computazionali con l'accuratezza necessaria per la riproduzione di un incendio la cui magnitudo, come indicato in precedenza nella descrizione degli scenari di progetto, è stata fissata in 30 MW.

Varie pubblicazioni¹ hanno dimostrato che una buona accuratezza nella simulazione di un incendio con modelli CFD comporta un rapporto ottimale fra il diametro caratteristico dell'incendio “ D^* ” e la dimensione della cella elementare Δl normalmente compreso fra 4 e 16.

Tenendo presente che il diametro caratteristico dell'incendio può essere calcolato applicando la seguente equazione:

¹Vedi la “User Guide” di FDS

	<p style="text-align: center;"> AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO DM 09/05/2007 </p>	<i>Documento:</i> 16PF0929AL002
		Pag. 10/45

$$D = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{aria} \cdot C_p \cdot T_{aria} \cdot \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}}$$

Con:

D = diametro caratteristico dell'incendio

Q = potenza dell'incendio (kW)

ρ_{aria} = densità dell'aria a 20 °C (1,205 kg/m³)

C_p = calore specifico dell'aria a 20 °C (1,005 kJ/kg K)

T_{aria} = temperatura dell'aria (293,15 K)

g = accelerazione di gravità (9,81 m/s²)

Si ottiene un **diametro caratteristico di 3,75 m**. Fissando la **dimensione isometrica della cella in 0,3 m** si ottiene un rapporto R fra le due grandezze pari a:

$$R = \frac{D}{\Delta l} = \frac{3,75}{0,3} = 12,5$$

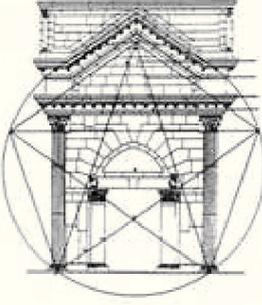
Simulazione	Potenza (kW)	Diametro caratteristico dell'incendio (D)	R = D / Δl
Simulazione n.1	30000	3,75	12,5

Come precedentemente accennato, R deve risultare compreso fra 4 e 16, in questo caso il valore di 12,5 ottenuto permette di affermare che la dimensione omogenea sui tre assi delle celle elementari pari a 0,3 m, rientra nell'intervallo su indicato, pertanto l'accuratezza dei risultati rientra sicuramente nel capo di accettabilità.

4.1.4 Dominio computazionale

L'acquisizione della struttura in esame è stata effettuata descrivendo lo spazio di simulazione attraverso delle celle elementari della dimensione di 30x30x30 cm.

In tutte le simulazioni è stata riprodotta strutturalmente la copertura fonica Palmaro. L'estensione del dominio computazionale è di 189,6 x 18,9 x 7,8 m, per un numero complessivo di 1.035.216 celle circa. Le strutture sono state caratterizzate con i loro parametri termofisici e lo spessore reale, anche se poi nella rappresentazione geometrica

	<p><i>AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO DM 09/05/2007</i></p>	<p><i>Documento: 16PF0929AL002</i></p> <p><i>Pag. 11/45</i></p>
---	---	---

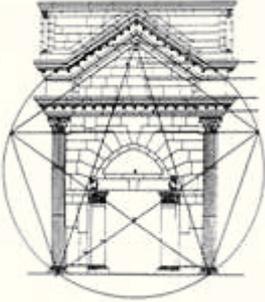
tutti gli oggetti vengono ridimensionati alla dimensione minima di cella, ossia 30 cm.

Si fa notare che tali approssimazioni, insite nella definizione dello spazio computazionale, non hanno influito sulla determinazione del comportamento fisico dei materiali, che sono invece descritti attraverso le loro proprietà fisico-chimiche (spessore, densità, conducibilità termica, calore specifico, emissività, calore di combustione, temperatura d'innescio, ecc.).

4.2 Modellazione geometrica delle strutture

Sulla base delle informazioni riportate negli elaborati di progetto e forniti dalla committenza, dopo aver assegnato le proprietà chimico-fisiche dei materiali costituenti le strutture, è stato possibile modellare geometricamente la copertura fonica Palmaro.

Di seguito sono riportate le immagini che mostrano la modellazione geometrica della struttura in oggetto, realizzata impiegando il software FDS 5.0.

	<p>AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO DM 09/05/2007</p>	<p>Documento: 16PF0929AL002</p> <p>Pag. 12/45</p>
---	--	--

4.2.1 Modellazione 3D

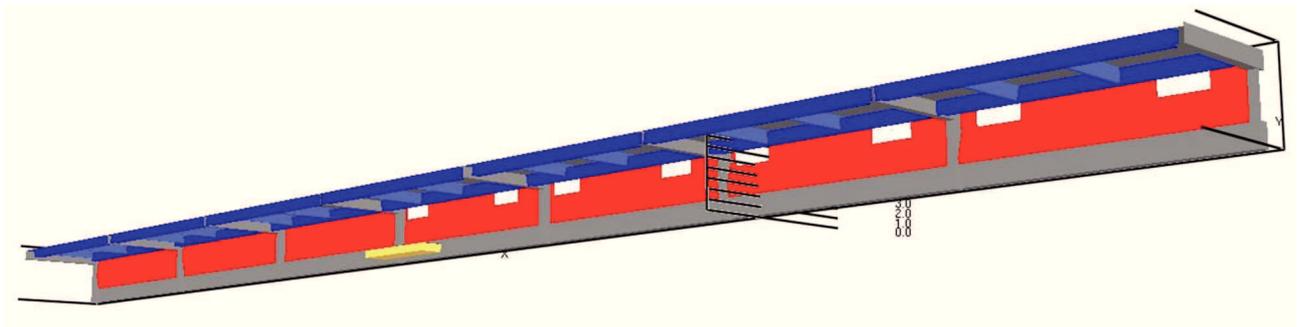


Illustrazione 2: Modello 3D-Vista interna

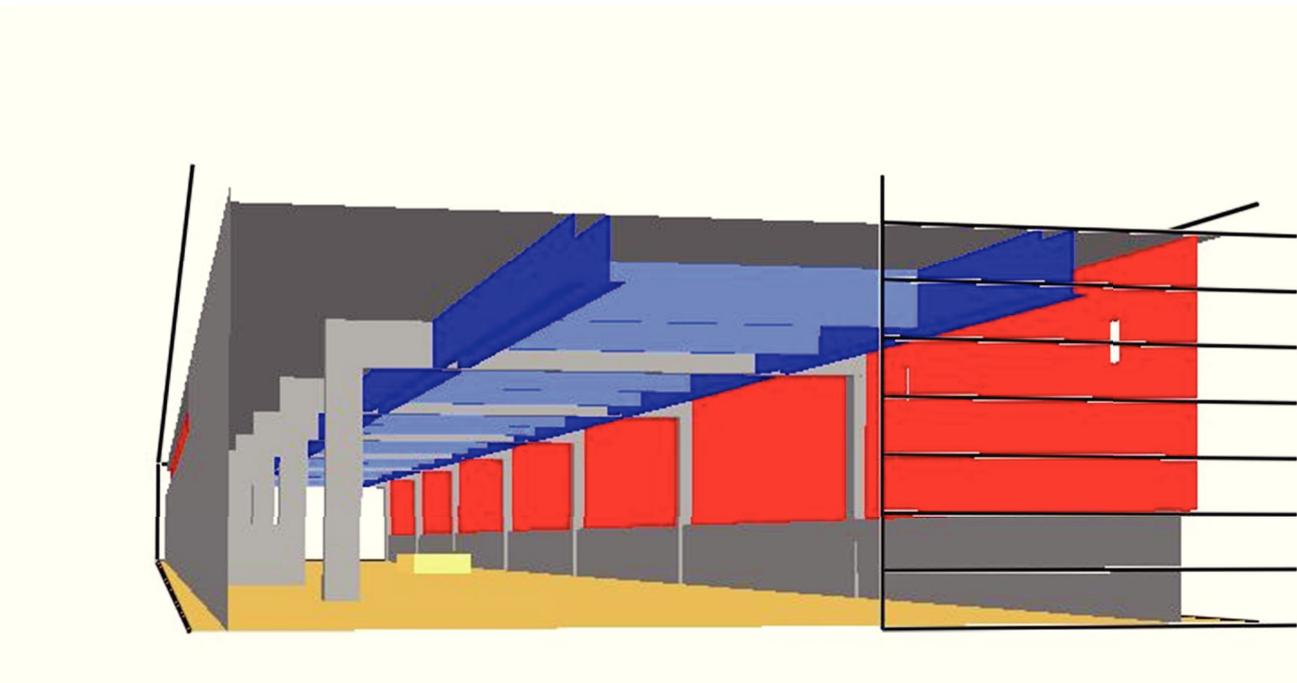
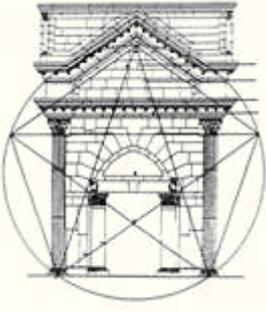


Illustrazione 3: Modello 3D – vista frontale

	<p style="text-align: center;"> AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO DM 09/05/2007 </p>	<p style="text-align: right;"> <i>Documento:</i> 16PF0929AL002 </p>
		<p style="text-align: right;"> <i>Pag. 13/45</i> </p>

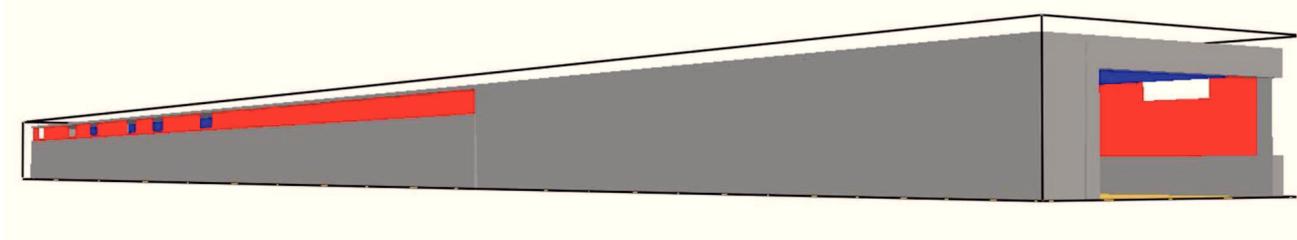


Illustrazione 4: Modello 3D - vista laterale

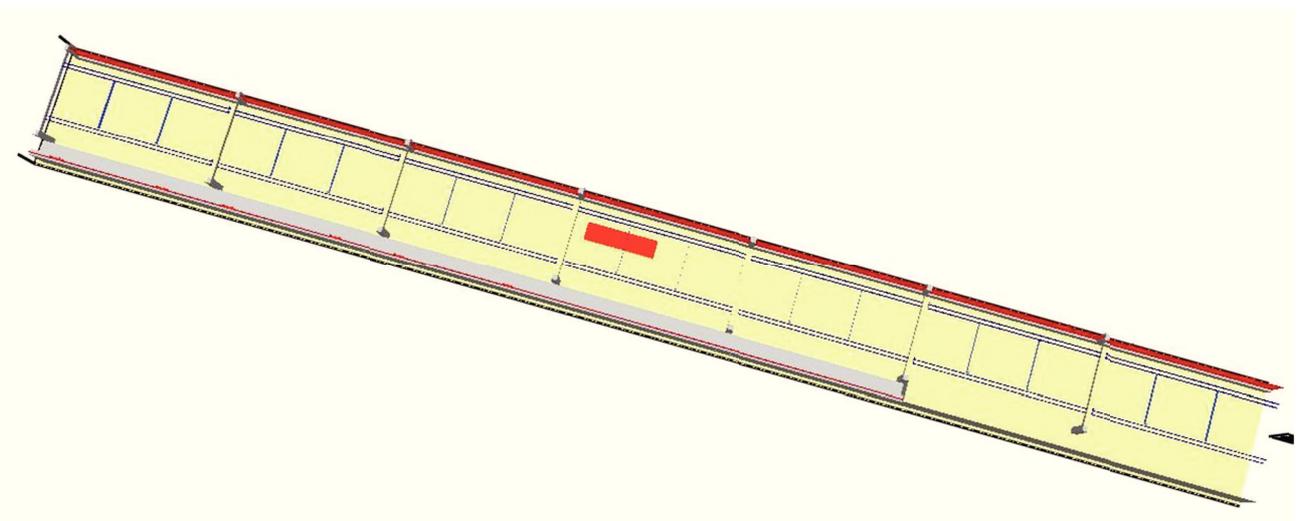
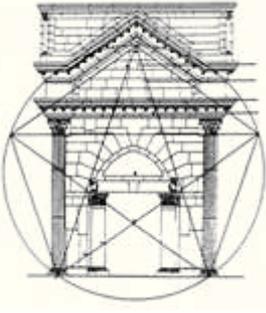


Illustrazione 5: Modello 3D– posizione innesco

4.3 Riproduzione dell'impiantistica, della sensoristica e della strumentazione virtuale

4.3.1 Impianto di ventilazione

Nella simulazione fluidodinamica di incendio, per lo scenario oggetto della presente relazione, non è stata prevista l'azione di impianti meccanici di ventilazione ma è stato previsto l'intervento degli evacuatori naturali di fumo e calore (ENFC), posti sulle pareti laterali del viadotto. Gli evacuatori hanno dimensioni circa pari a 4,5 m x 1,2 m e sono posti ad una certa distanza (2-3 m circa) dall'imbocco e dall'uscita della copertura fonica ad intervalli di circa 15 m.

	<p><i>AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO DM 09/05/2007</i></p>	<p><i>Documento: 16PF0929AL002</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Pag. 14/45</i></p>
---	---	---

4.3.2 Piani di misura

Per lo scenario oggetto della presente, sono stati individuati dei piani di misura per mappare l'andamento della temperatura e della visibilità. I piani sono stati disposti:

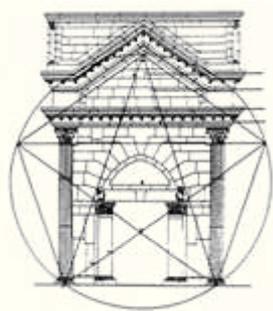
- in sezione longitudinale, in mezzeria ($y=5,4$);
- a quota 1,5 m dal piano di calpestio della superficie stradale ($z= 1,5$).
- in sezione trasversale piani vettoriali di velocità in corrispondenza di alcune aperture

5 Risultati ottenuti dalla simulazione

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti per la simulazione fluidodinamica relativa allo scenario oggetto della presente: l'innesco è stato posizionato al centro della copertura fonica. L'incendio ha raggiunto la potenza massima pari a 30.000 kW.

5.1 Evoluzione dell'incendio

Nell'illustrazione 5 di seguito riportata è mostrata l'evoluzione dell'incendio per i primi 1020 secondi di simulazione, quando la simulazione è stata interrotta. L'andamento del grafico è molto simile a quello della curva applicata per l'innesco della superficie che rappresenta il camion fermo nel mezzo della copertura fonica.



**AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA
VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO
APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA
ANTINCENDIO
DM 09/05/2007**

Documento:
16PF0929AL002

Pag. 15/45

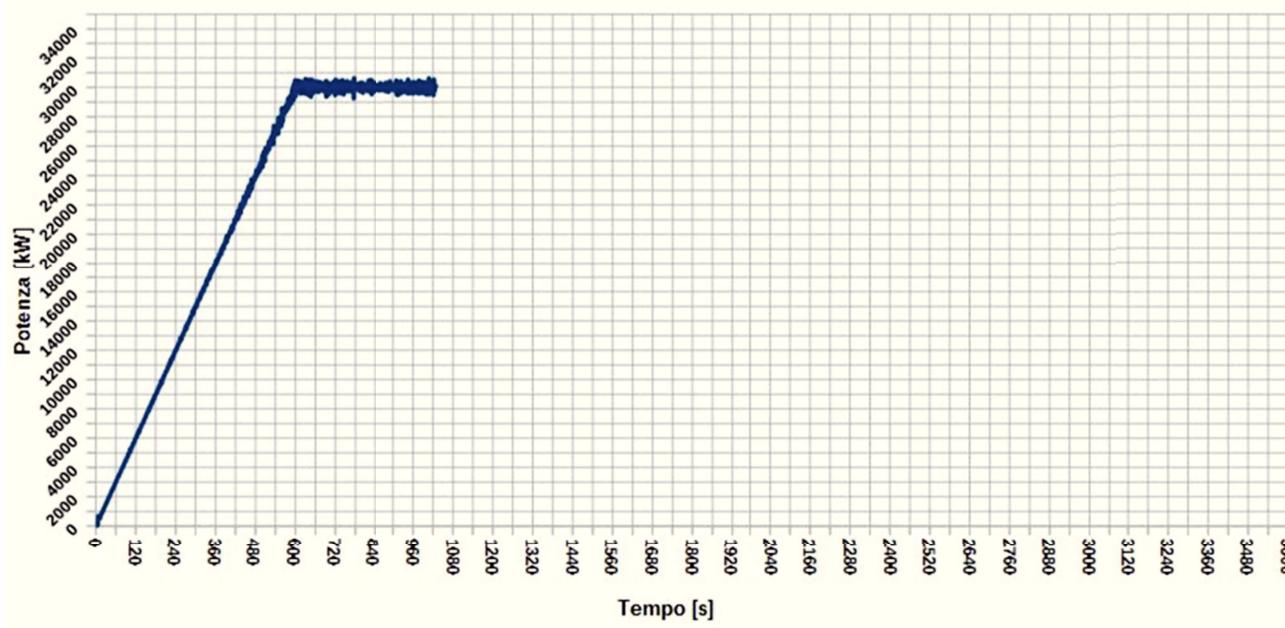


Illustrazione 6: Evoluzione dell'incendio durante tutta la durata della simulazione

5.2 I livelli di temperatura

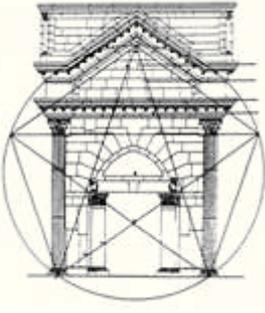
Dal piano di misura della temperatura posto in corrispondenza della mezzeria della copertura fonica si può osservare che le temperature a quota 2,0 m si mantengono in condizioni sufficientemente accettabili per i primi 600 s, non superando mai il valore di 60 °C che rappresenta la soglia di prestazione richiesta per effettuare un esodo sotto una coltre di fumi caldi.

5.3 I livelli di visibilità

La visibilità misurata a quota 1,5 m dal piano di calpestio della copertura fonica scende al di sotto dei 6 m a circa 380 secondi dall'inizio della simulazione.

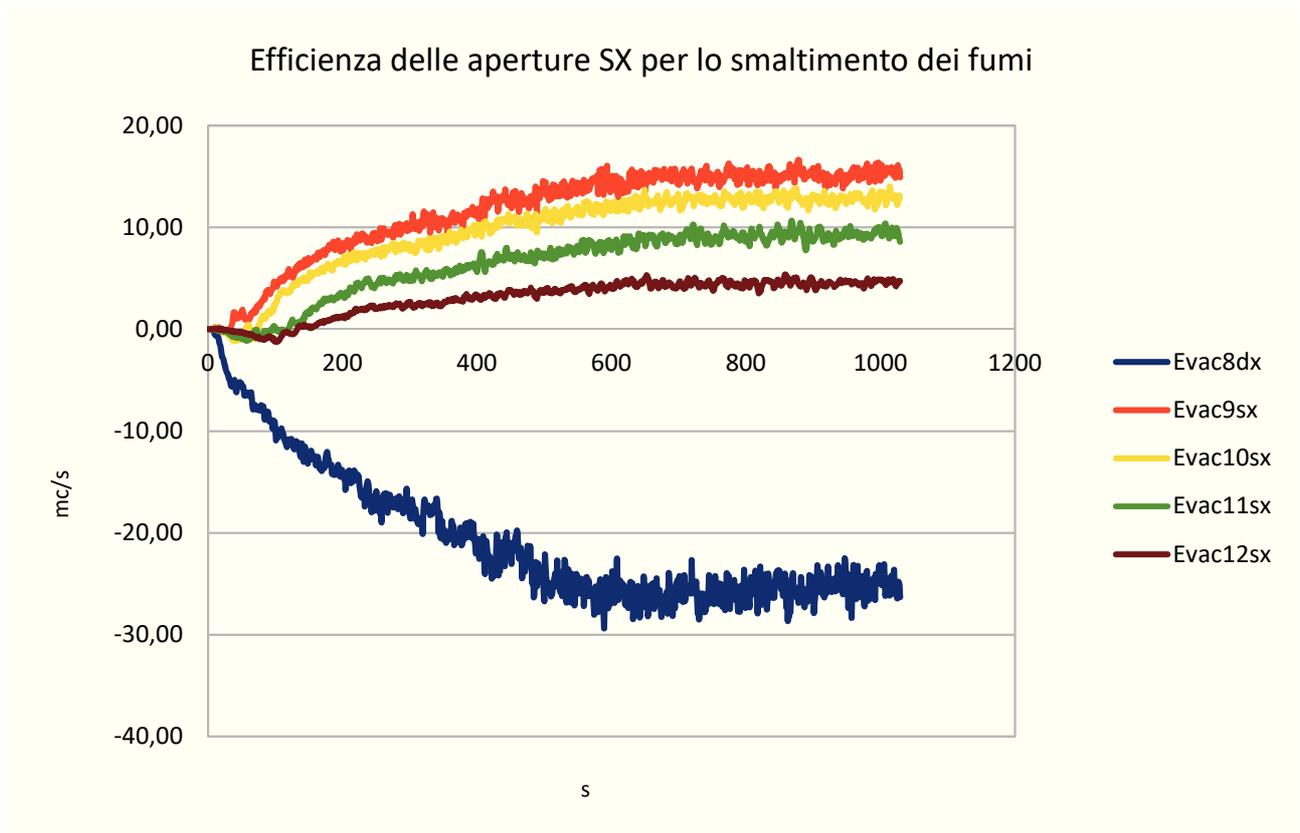
5.4 Efficienza delle aperture di evacuazione dei fumi

Viene riportato di seguito il grafico che mostra l'andamento temporale della portata di estrazione delle aperture presenti nella copertura fonica, attuate mediante sistema

	<p>AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO DM 09/05/2007</p>	<p>Documento: 16PF0929AL002</p> <p>Pag. 16/45</p>
---	---	---

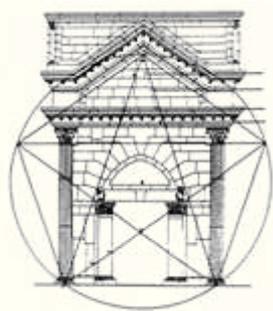
automatico su input dell'impianto di rivelazione.

Si può osservare che quando la potenza termica raggiunge il massimo la portata delle aperture poste a sinistra della copertura fonica va a regime intorno al valore medio di 10 m³/s, in funzione della collocazione rispetto al focolaio, quindi in funzione della energia cinetica dei fumi.



Nel grafico è riportata anche la curva di un'apertura posta a destra. Anche in questa simulazione si osserva che le aperture poste a destra, rispetto al senso di marcia, funzionano come aspiratori di aria fresca (valori negativi rappresentano flussi che entrano nel dominio).

Questo comportamento, come già descritto nell'allegato relativo alla simulazione n.1, è spiegabile con la asimmetria del focolaio rispetto alla mezzeria longitudinale della copertura fonica unitamente alla presenza delle discontinuità all'intradosso costituite dalle travi trasversali. Si crea, mano a mano che cresce la potenza dell'incendio, un sistema vorticoso

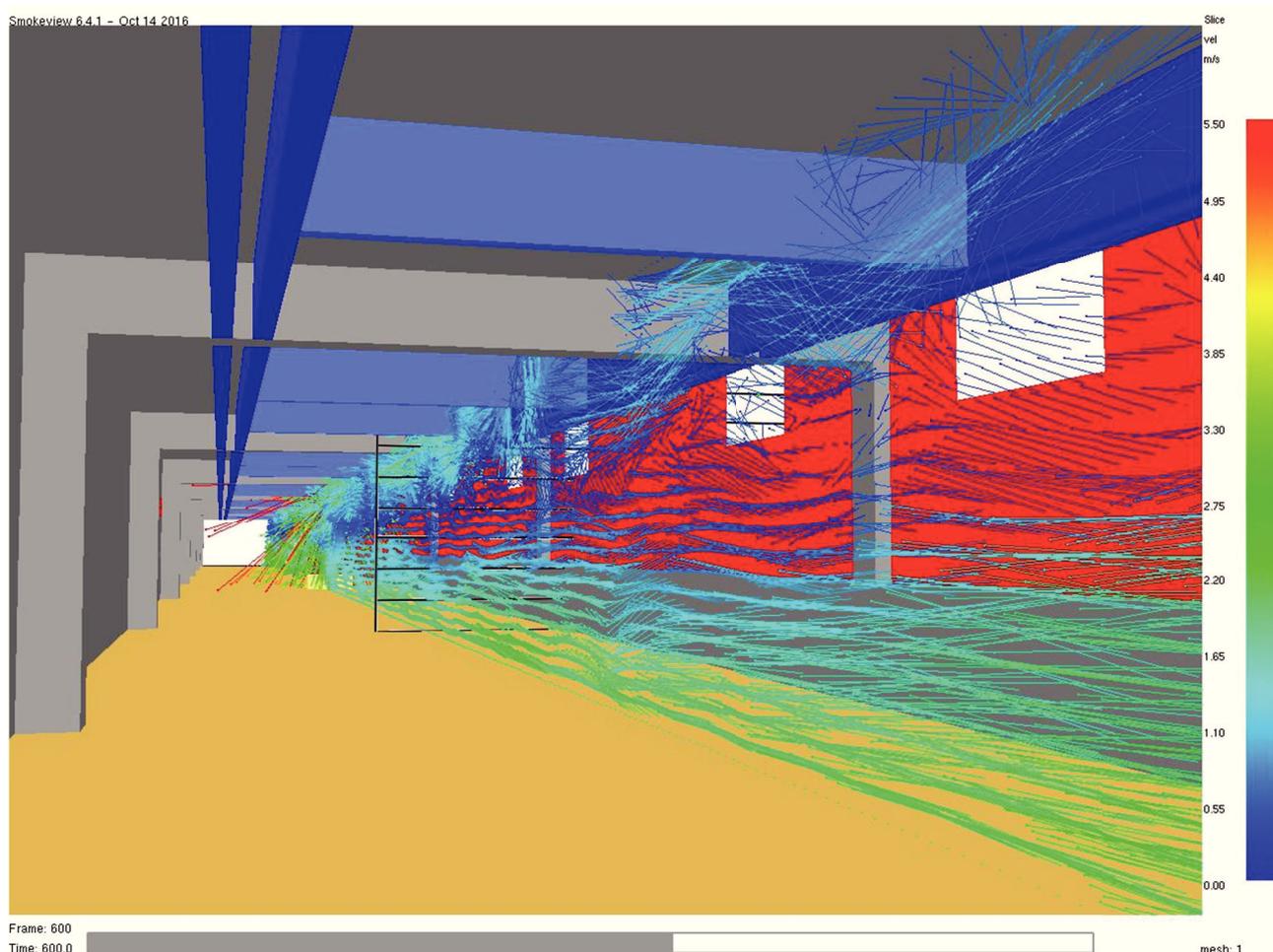


**AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA
VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO
APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA
ANTINCENDIO
DM 09/05/2007**

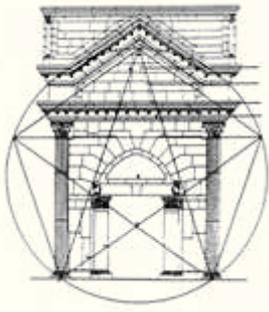
Documento:
16PF0929AL002

Pag. 17/45

che aspira aria da una parte ed espelle fumi dall'altra. Il fenomeno mette in luce che non tutta la superficie delle aperture collabora all'espulsione e che la turbolenza del sistema influisce negativamente sulla visibilità in quanto non si riesce ad ottenere un flusso laminare dei fumi all'intradosso. D'altra parte il notevole afflusso di aria fresca permette una riduzione della temperatura dei fumi che, alla quota di 2,5 m dal pavimento non supera il valore di 40 °C, in ragione della grande quantità di aria fresca richiamata dall'esterno. Si riportano di seguito alcune illustrazioni che spiegano meglio il fenomeno descritto.



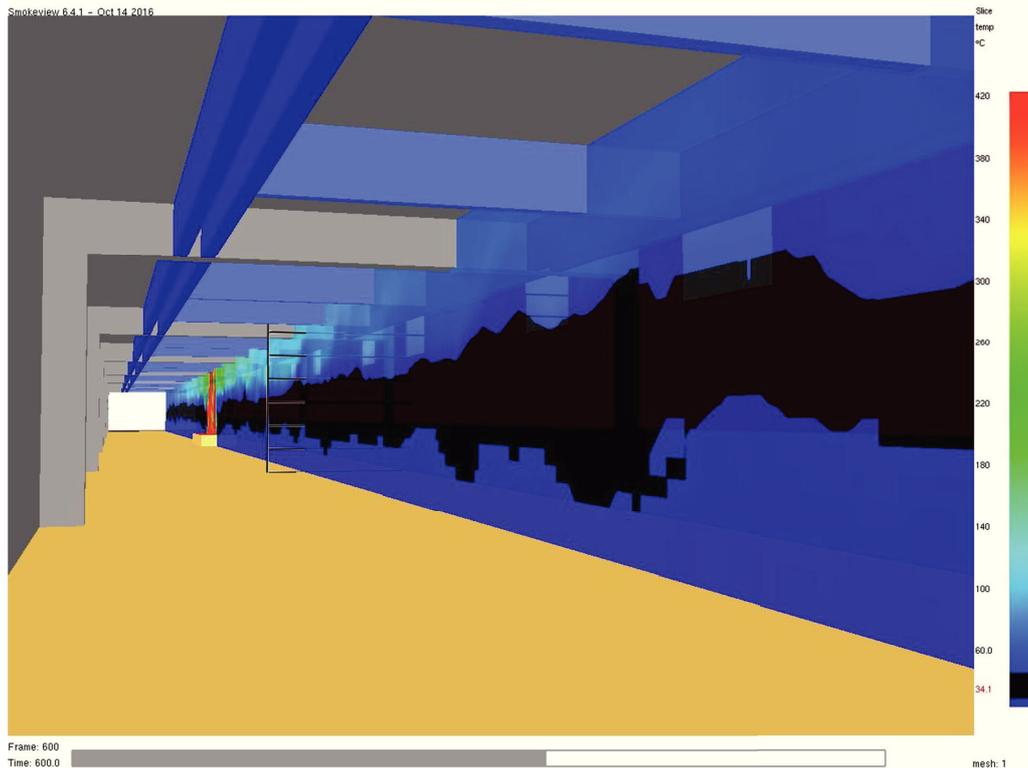
Vettori di velocità a 600 s e turbolenza associata



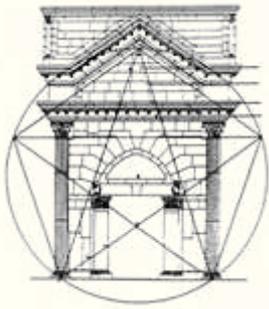
**AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA
VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO
APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA
ANTINCENDIO
DM 09/05/2007**

Documento:
16PF0929AL002

Pag. 18/45



Temperatura dei fumi a 600 s

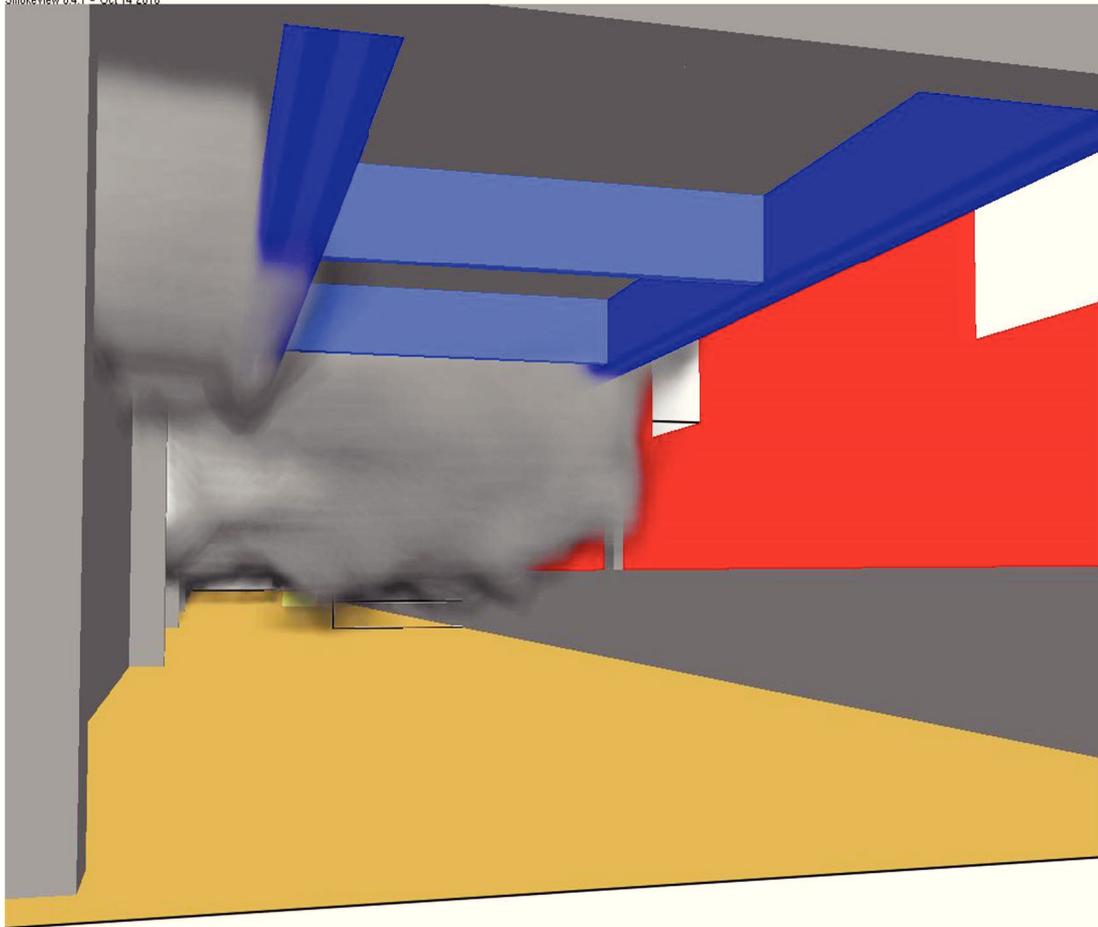


**AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA
VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO
APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA
ANTINCENDIO
DM 09/05/2007**

Documento:
16PF0929AL002

Pag. 19/45

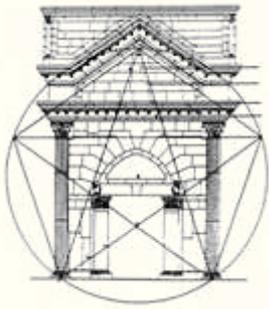
Smokeview 6.4.1 - Oct.14.2016



Frame: 180
Time: 180.0

mesh: 1

Avanzamento del fumo a 180 s

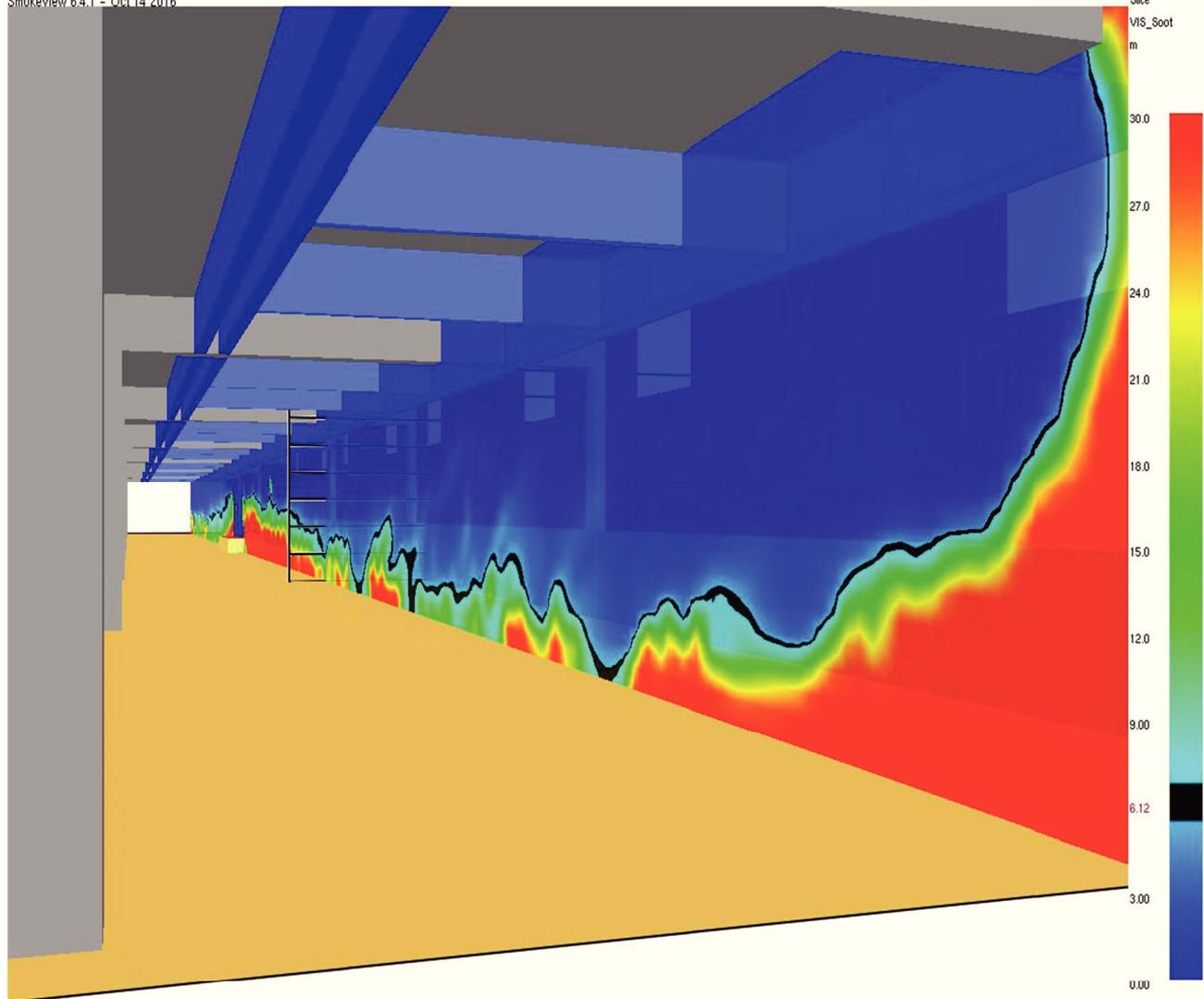


AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA
VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO
APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA
ANTINCENDIO
DM 09/05/2007

Documento:
16PF0929AL002

Pag. 20/45

Smokeyview 6.4.1 – Oct 14 2016

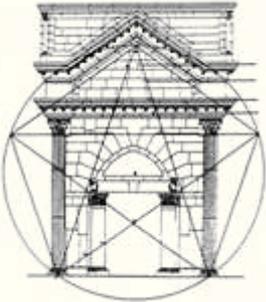


Frame: 300

Time: 300.0

mesh: 1

Piano longitudinale di visibilità a 300 s

	<p style="text-align: center;"> AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO DM 09/05/2007 </p>	<p style="text-align: right;"> <i>Documento:</i> <i>16PF0929AL002</i> </p>
		<p style="text-align: right;"> <i>Pag. 21/45</i> </p>

6 Conclusioni

In funzione dei risultati ottenuti mediante simulazione fluidodinamica di incendio è possibile affermare che l'installazione di aperture laterali come da specifiche sopradescritte, produce senz'altro l'effetto benefico previsto in termini di sicurezza delle persone. In quanto permette di evacuare una certa quantità dei prodotti della combustione e nello stesso di richiamare aria fresca che abbassa la temperatura dei fumi con notevole vantaggio per le strutture.

Da un punto di vista dell'esodo la simulazione ha dimostrato che le aperture, di dimensioni pari a 4,5 m x 1,2 m (tre moduli da 1,5 m x 1,2 m), ha avuto come risultato un miglioramento sensibile sia della temperatura che soprattutto della visibilità, come si può evincere dalla slide sopra riportata e che mostra un piano longitudinale di visibilità a 300 s.

Si vede chiaramente che la visibilità rimane al di sopra dei 10 m fatta eccezione per alcune zone, la cui periodicità dimostra l'influenza del fenomeno turbolento in prossimità delle travi trasversali.

In conclusione la realizzazione di aperture di dimensioni come da specifiche sopradescritte garantiscono un adeguato livello di sicurezza, per quanto riguarda l'esodo in caso di incendio.

7 Risultati numerici – Grafici, immagini 3D e piani di misura

7.1 Elenchi immagini

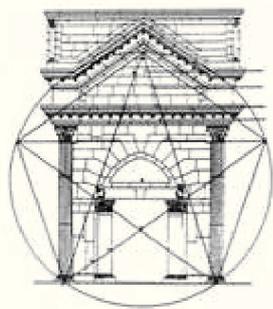
Le immagini successive riguardano l'evoluzione dell'incendio con la relativa propagazione dei fumi e i piani di misura per la temperatura, la visibilità che si sono ottenute dalla simulazione.

Gli elenchi presenti sono soprattutto dedicati al piano primo dell'edificio e le immagini sono state raggruppate nei seguenti elenchi:

ELENCO 01: Evoluzione dell'incendio

ELENCO 02: Evoluzione delle temperature

ELENCO 03: Evoluzione della visibilità

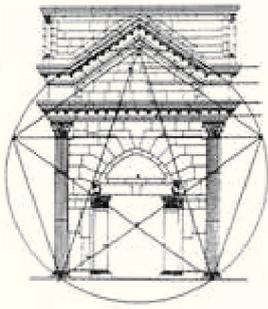


*AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA
VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO
APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO
DM 09/05/2007*

*Documento:
16PF0929AL002*

Pag. 22/45

SIMULAZIONE
Incendio

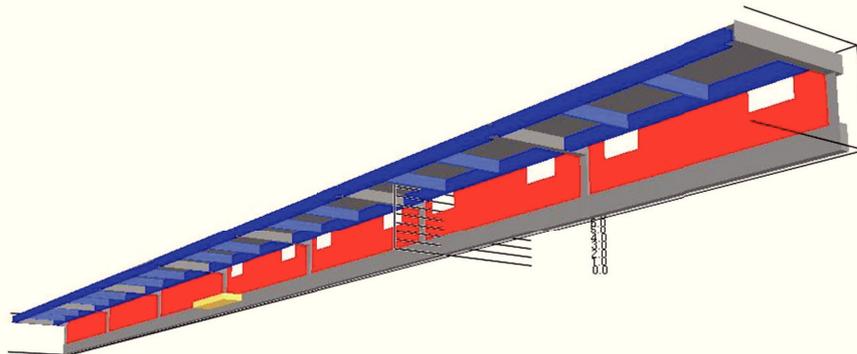


AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA
VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO
APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO
DM 09/05/2007

Documento:
16PF0929AL002

Pag. 23/45

Smokeyview 5.6 - Nov 1 2010

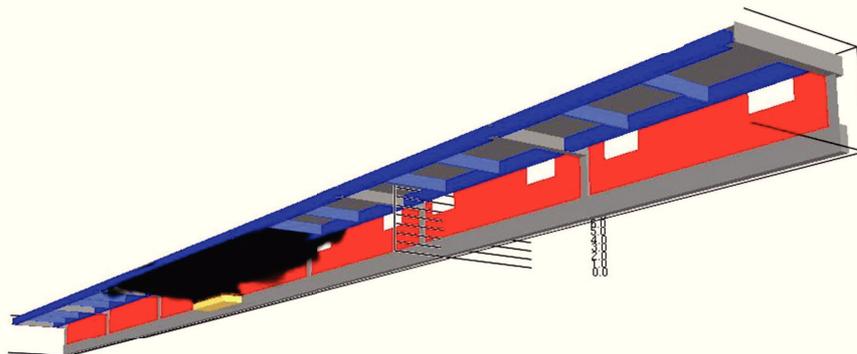


Frame: 0
Time: 0.0

>66 (kW/m3)

Evoluzione dell'incendio (0 secondi)

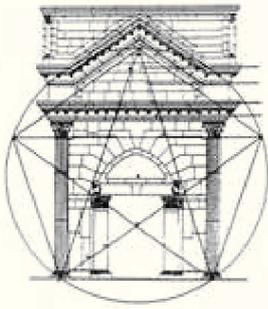
Smokeyview 5.6 - Nov 1 2010



Frame: 60
Time: 60.0

>66 (kW/m3)

Evoluzione dell'incendio (60 secondi)

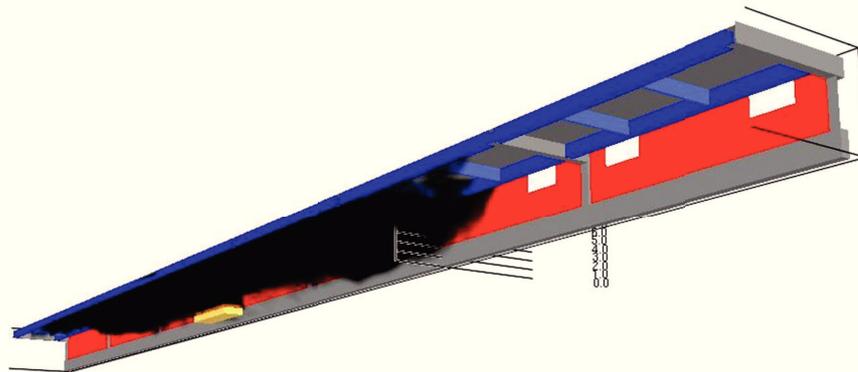


AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA
VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO
APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO
DM 09/05/2007

Documento:
16PF0929AL002

Pag. 24/45

Smokeview 5.6 - Nov 1 2010

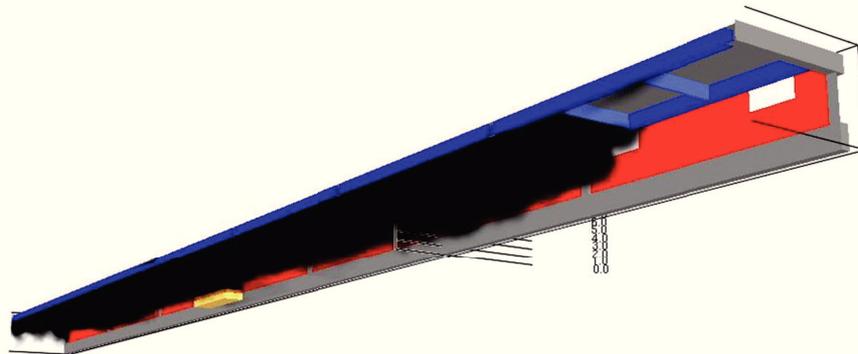


Frame: 120
Time: 120.0

>66 (kW/m3)

Evoluzione dell'incendio (120 secondi)

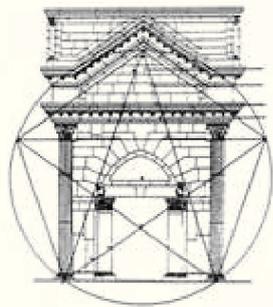
Smokeview 5.6 - Nov 1 2010



Frame: 180
Time: 180.0

>66 (kW/m3)

Evoluzione dell'incendio (180 secondi)

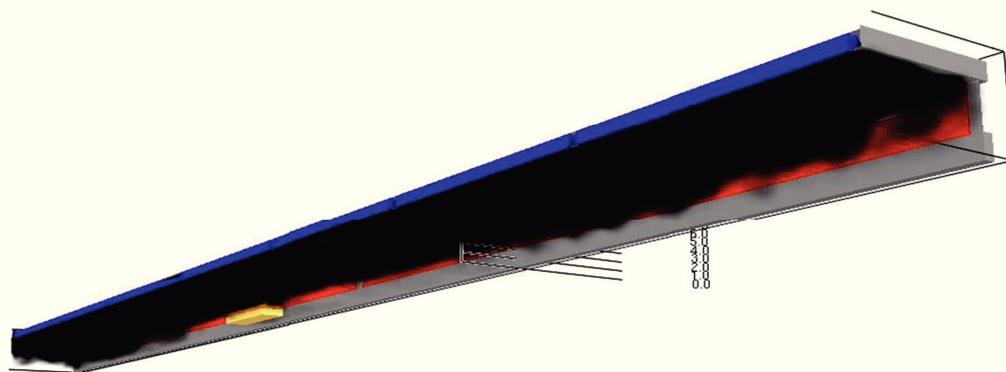


AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA
VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO
APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO
DM 09/05/2007

Documento:
16PF0929AL002

Pag. 25/45

Smokeview 5.6 - Nov 1 2010

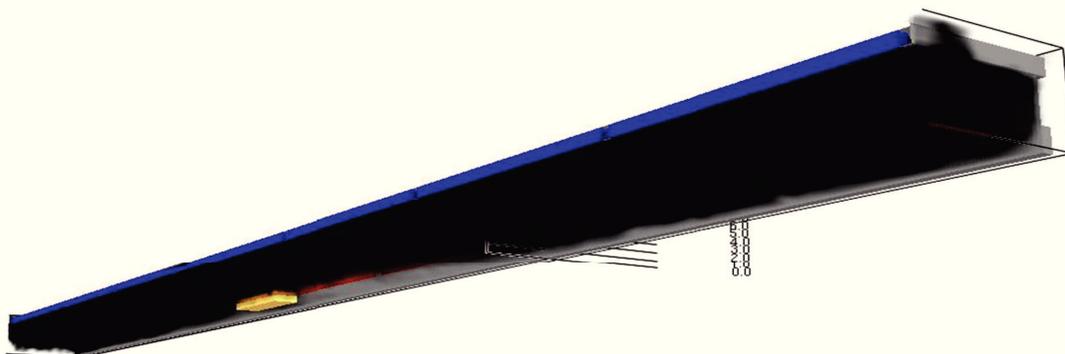


Frame: 240
Time: 240.0

>66 (kW/m3)

Evoluzione dell'incendio (240 secondi)

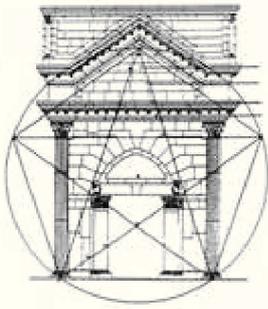
Smokeview 5.6 - Nov 1 2010



Frame: 300
Time: 300.0

>66 (kW/m3)

Evoluzione dell'incendio (300 secondi)

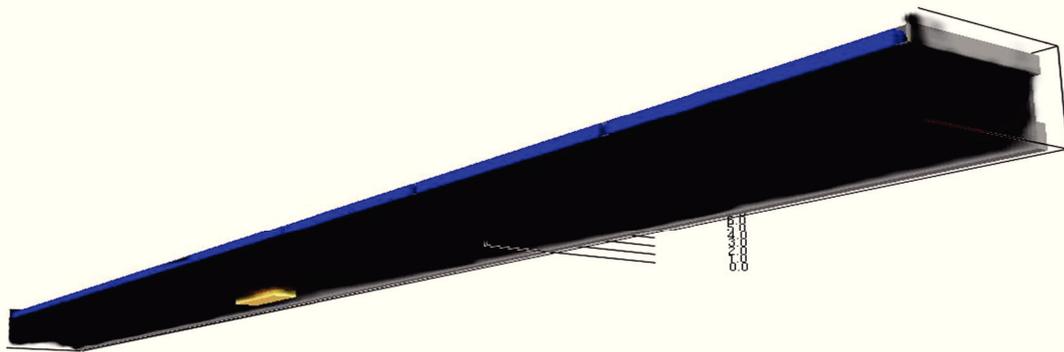


AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA
VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO
APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO
DM 09/05/2007

Documento:
16PF0929AL002

Pag. 26/45

Smokeview 5.6 - Nov 1 2010

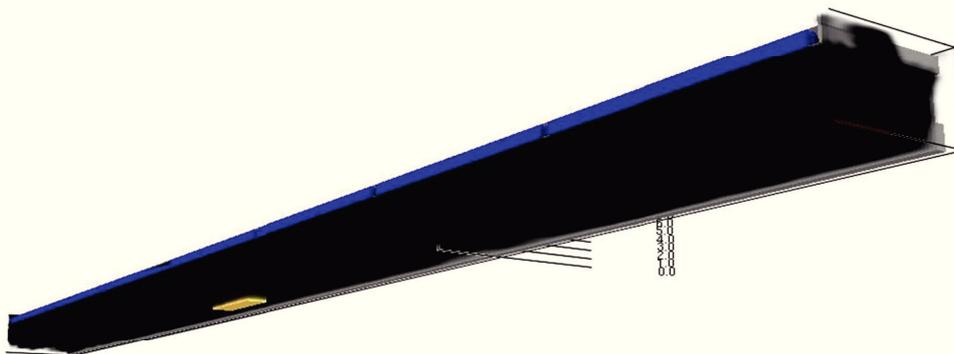


Frame: 360
Time: 360.0

>66 (kW/m3)

Evoluzione dell'incendio (360 secondi)

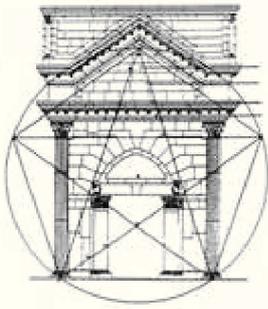
Smokeview 5.6 - Nov 1 2010



Frame: 420
Time: 420.0

>66 (kW/m3)

Evoluzione dell'incendio (420 secondi)

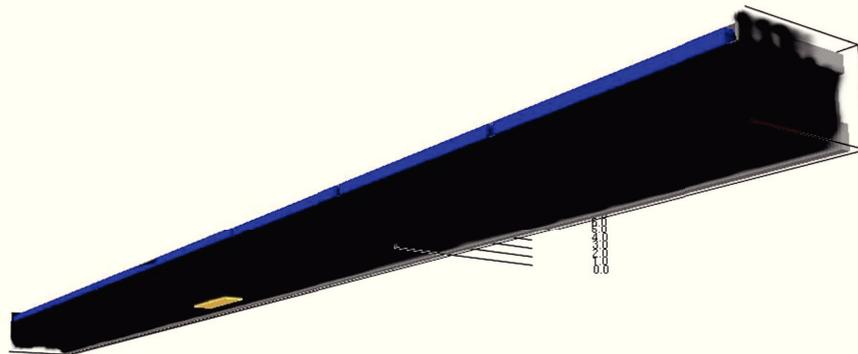


AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA
VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO
APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO
DM 09/05/2007

Documento:
16PF0929AL002

Pag. 27/45

Smokeview 5.6 - Nov 1 2010

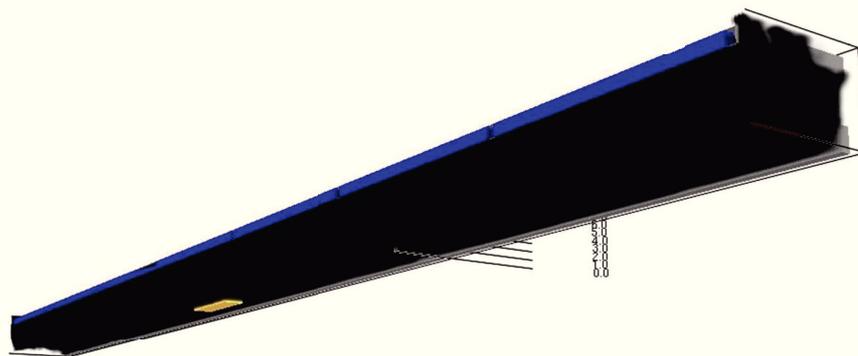


Frame: 480
Time: 480.0

>66 (kW/m3)

Evoluzione dell'incendio (480 secondi)

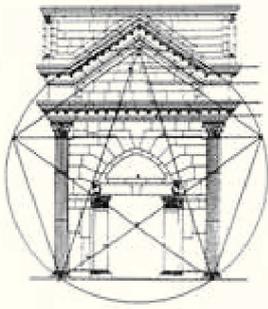
Smokeview 5.6 - Nov 1 2010



Frame: 540
Time: 540.0

>66 (kW/m3)

Evoluzione dell'incendio (540 secondi)

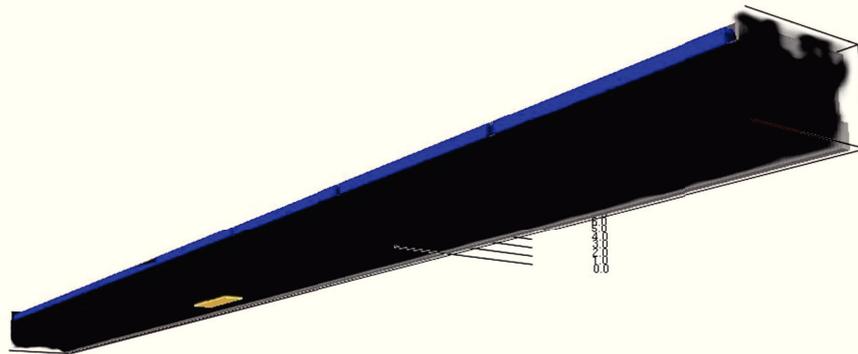


AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA
VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO
APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO
DM 09/05/2007

Documento:
16PF0929AL002

Pag. 28/45

Smokeview 5.6 - Nov 1 2010

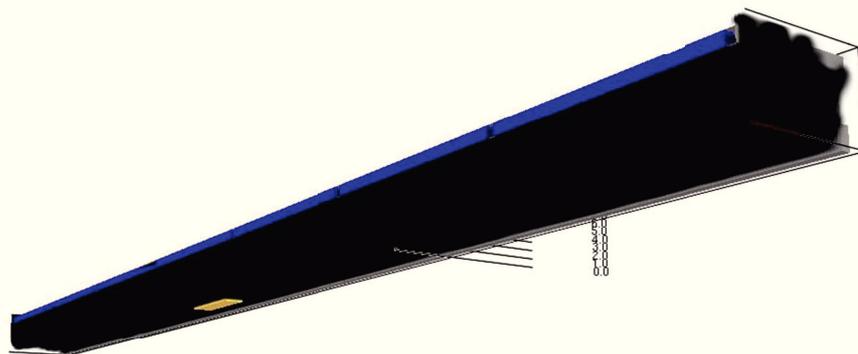


Frame: 600
Time: 600.0

>66 (kW/m3)

Evoluzione dell'incendio (600 secondi)

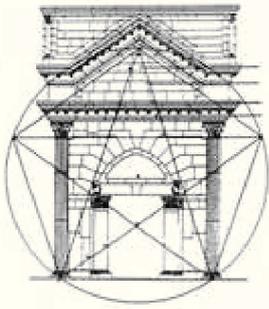
Smokeview 5.6 - Nov 1 2010



Frame: 660
Time: 660.0

>66 (kW/m3)

Evoluzione dell'incendio (660 secondi)

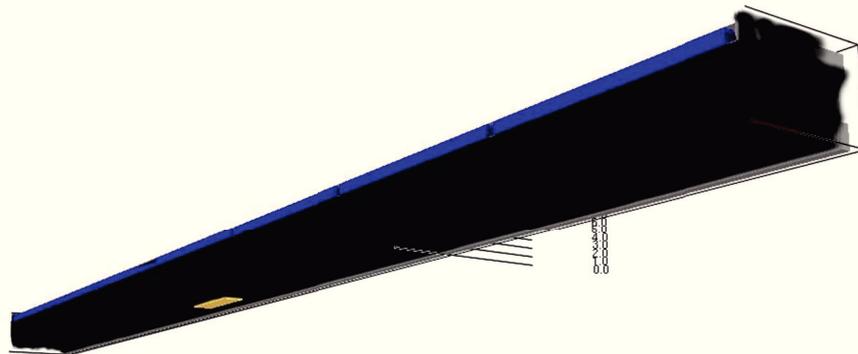


AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA
VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO
APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO
DM 09/05/2007

Documento:
16PF0929AL002

Pag. 29/45

Smokeview 5.6 - Nov 1 2010

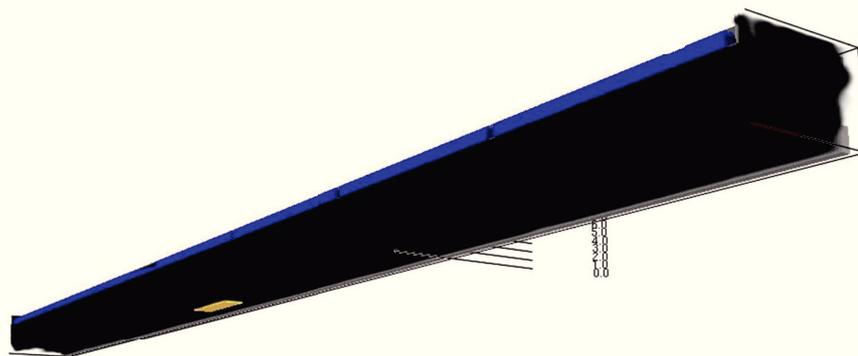


Frame: 780
Time: 780.0

>66 (kW/m3)

Evoluzione dell'incendio (780 secondi)

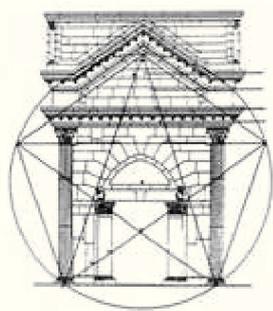
Smokeview 5.6 - Nov 1 2010



Frame: 900
Time: 900.0

>66 (kW/m3)

Evoluzione dell'incendio (900 secondi)

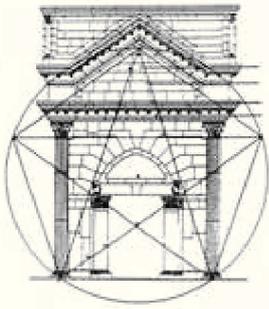


*AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA
VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO
APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO
DM 09/05/2007*

*Documento:
16PF0929AL002*

Pag. 30/45

SIMULAZIONE
Temperatura

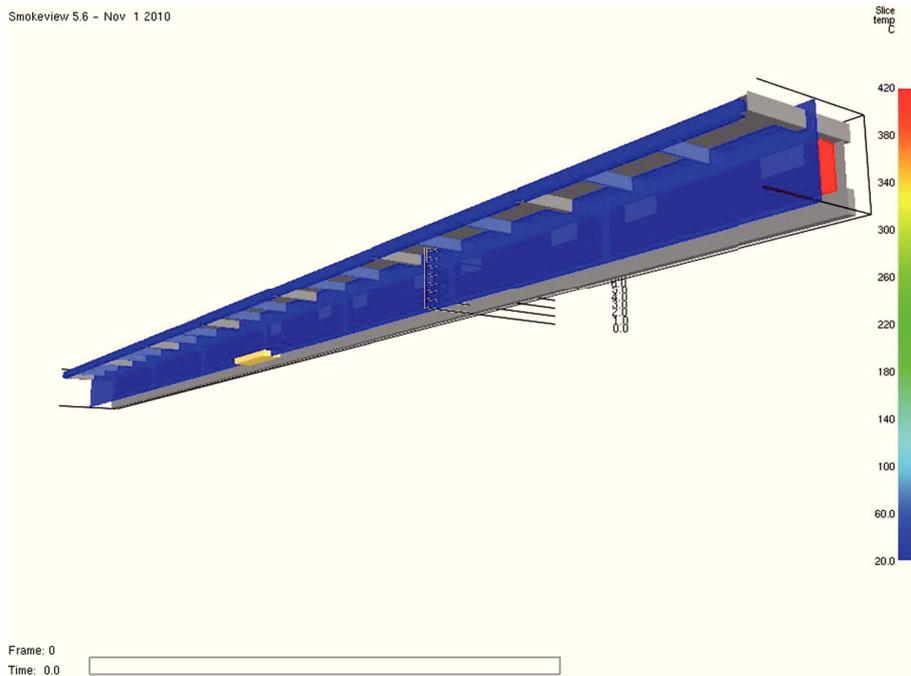


AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA
VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO
APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO
DM 09/05/2007

Documento:
16PF0929AL002

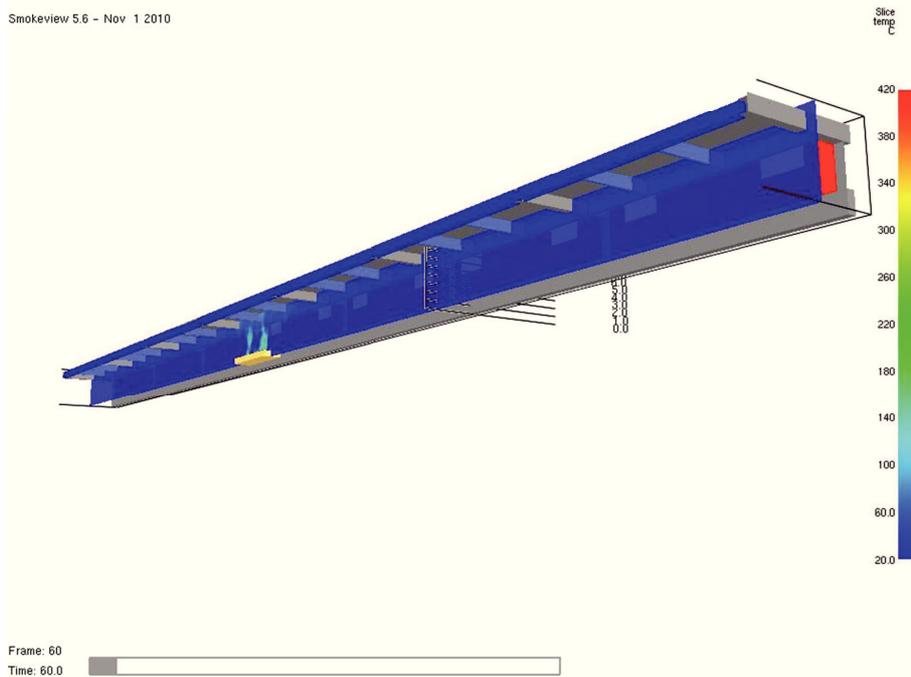
Pag. 31/45

Smokeview 5.6 - Nov 1 2010

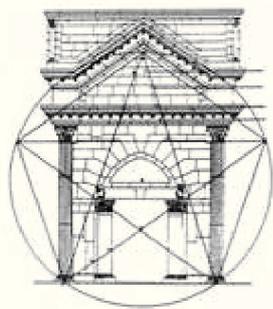


Evoluzione della temperatura (0 secondi)

Smokeview 5.6 - Nov 1 2010



Evoluzione della temperatura (60 secondi)

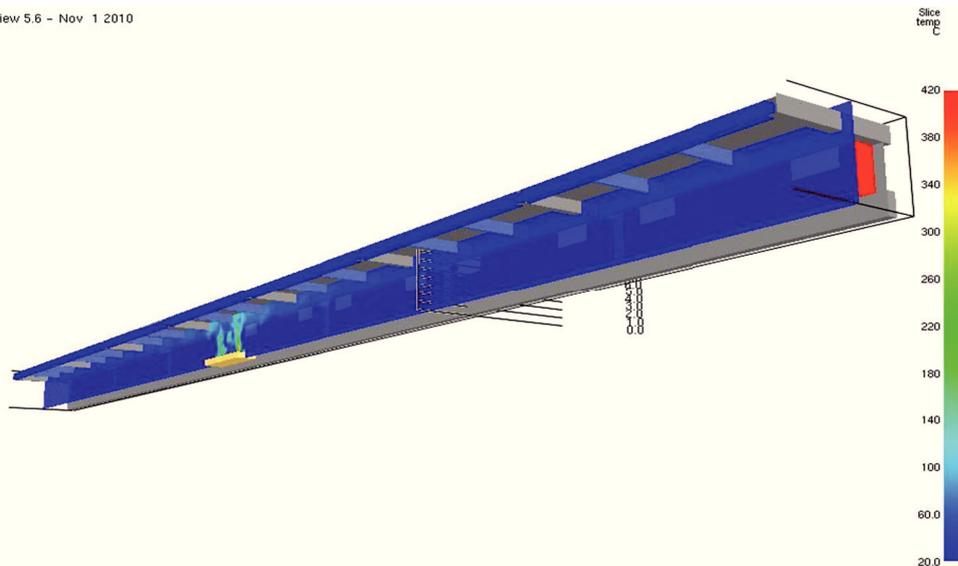


**AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA
VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO
APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO
DM 09/05/2007**

Documento:
16PF0929AL002

Pag. 32/45

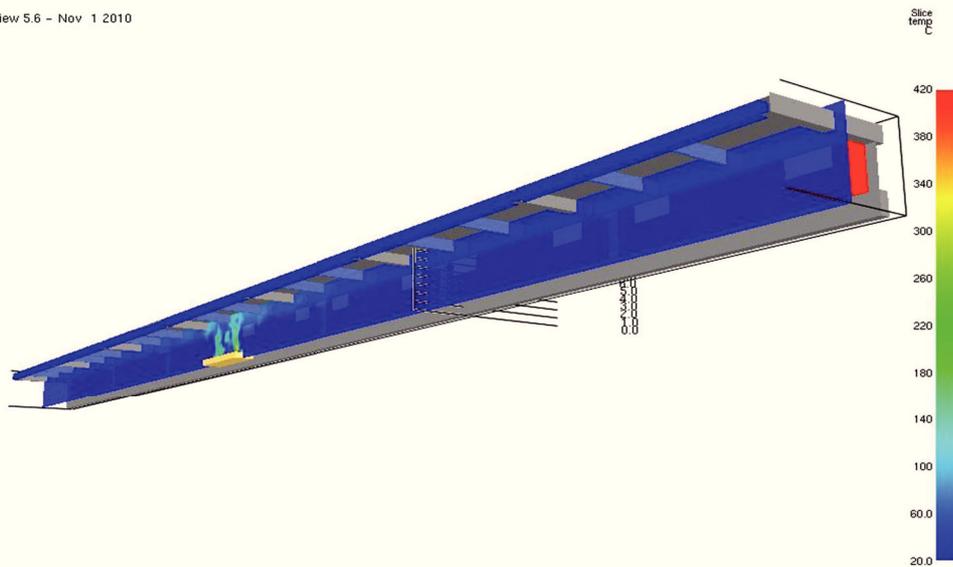
Smokeview 5.6 - Nov 1 2010



Frame: 120
Time: 120.0

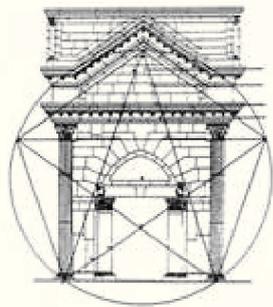
Evoluzione della temperatura (120 secondi)

Smokeview 5.6 - Nov 1 2010



Frame: 120
Time: 120.0

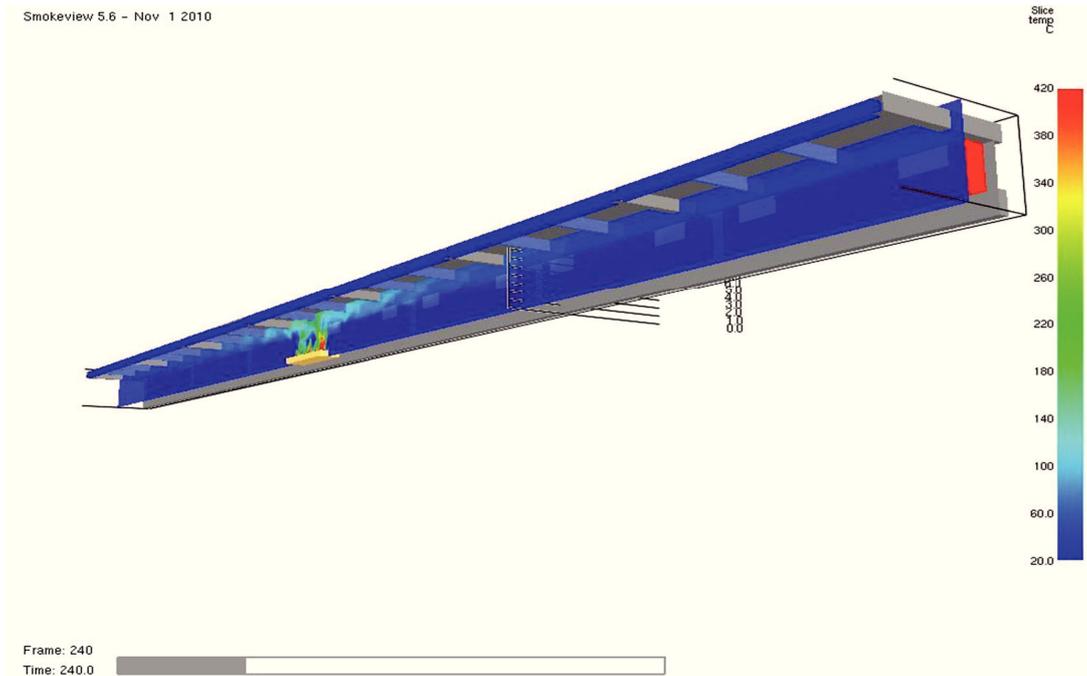
Evoluzione della temperatura (180 secondi)



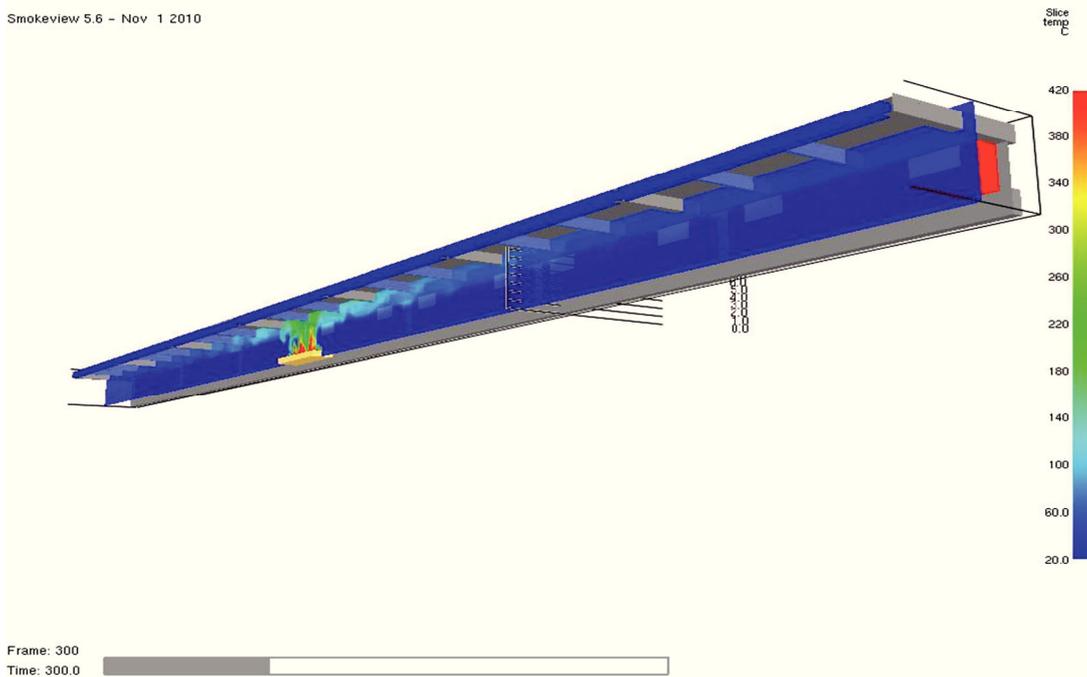
**AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA
VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO
APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO
DM 09/05/2007**

Documento:
16PF0929AL002

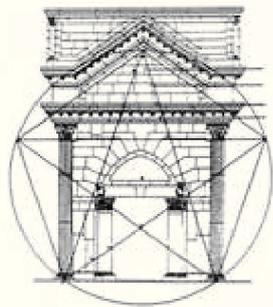
Pag. 33/45



Evoluzione della temperatura (240 secondi)



Evoluzione della temperatura (300 secondi)

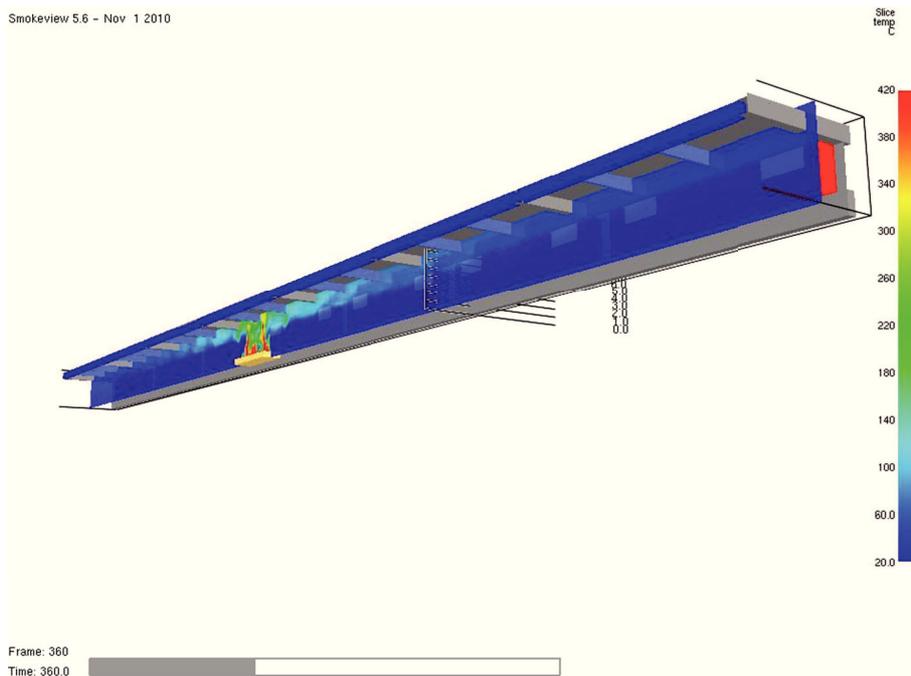


AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA
VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO
APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO
DM 09/05/2007

Documento:
16PF0929AL002

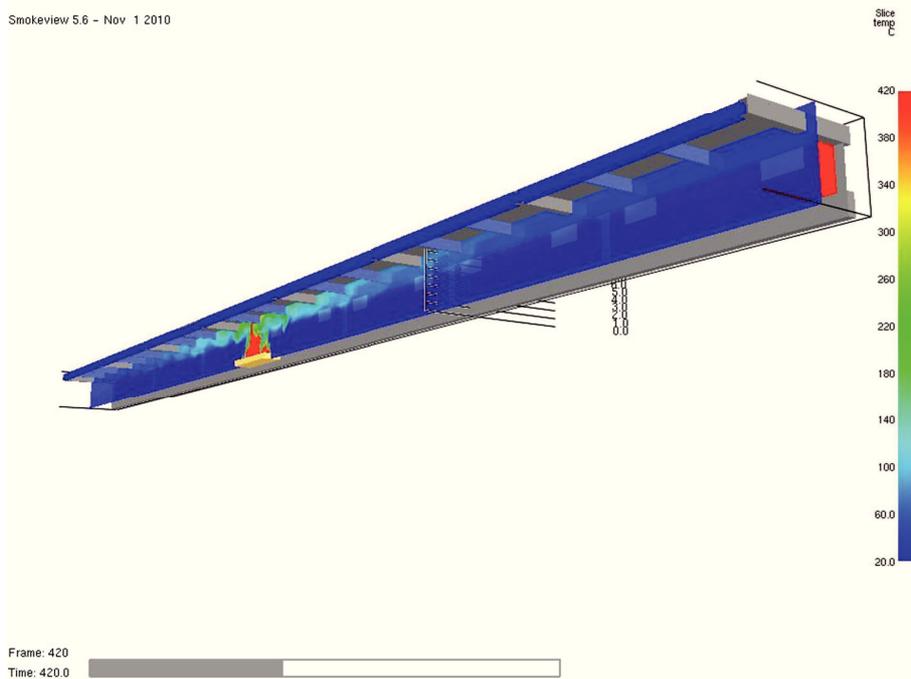
Pag. 34/45

Smokeview 5.6 - Nov 1 2010

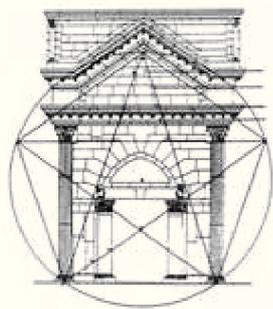


Evoluzione della temperatura (360 secondi)

Smokeview 5.6 - Nov 1 2010



Evoluzione della temperatura (420 secondi)

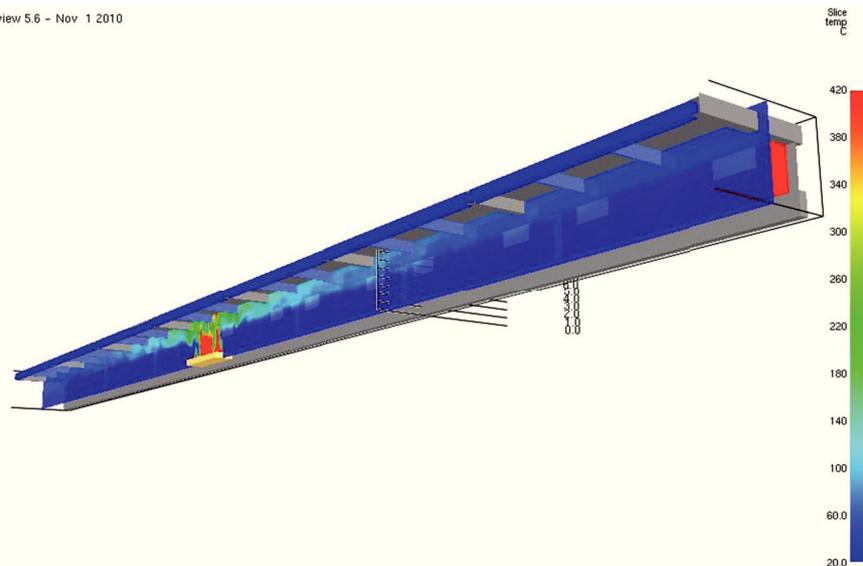


**AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA
VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO
APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO
DM 09/05/2007**

Documento:
16PF0929AL002

Pag. 35/45

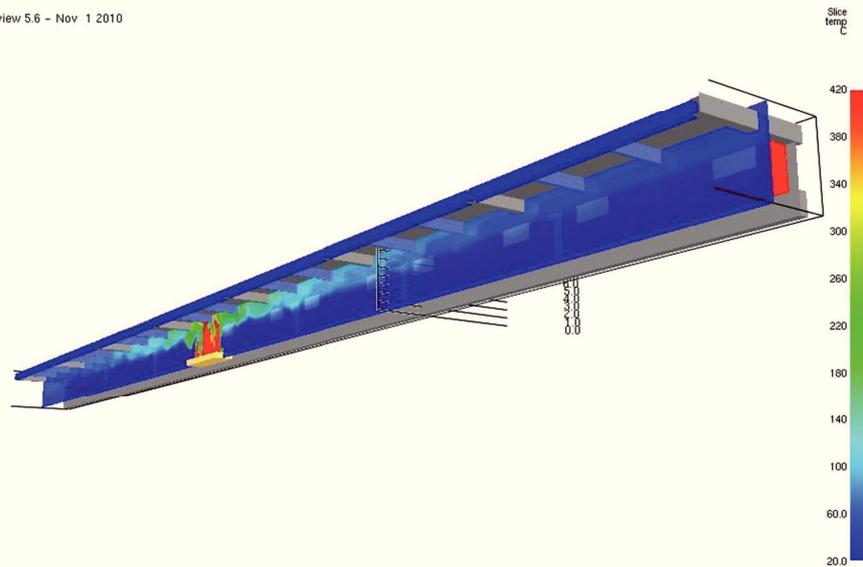
Smokeview 5.6 – Nov 1 2010



Frame: 480
Time: 480.0

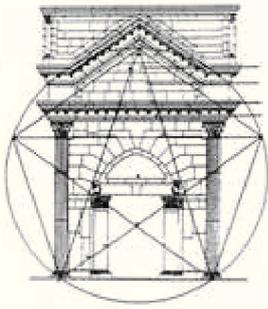
Evoluzione della temperatura (480 secondi)

Smokeview 5.6 – Nov 1 2010



Frame: 540
Time: 540.0

Evoluzione della temperatura (540 secondi)

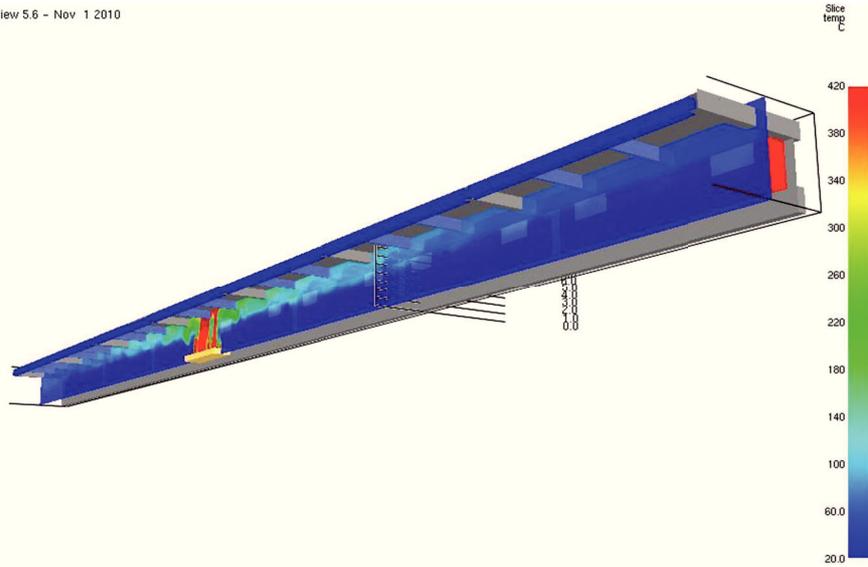


**AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA
VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO
APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO
DM 09/05/2007**

Documento:
16PF0929AL002

Pag. 36/45

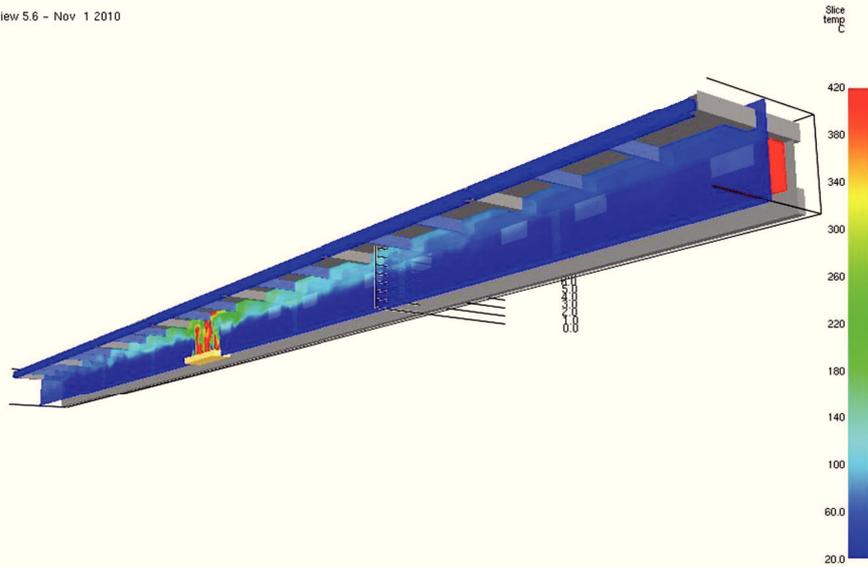
Smokeview 5.6 - Nov 1 2010



Frame: 600
Time: 600.0

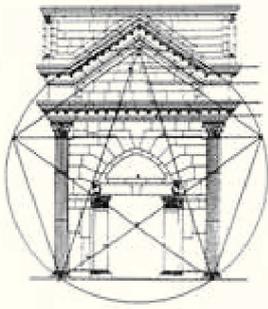
Evoluzione della temperatura (600 secondi)

Smokeview 5.6 - Nov 1 2010



Frame: 660
Time: 660.0

Evoluzione della temperatura (660 secondi)

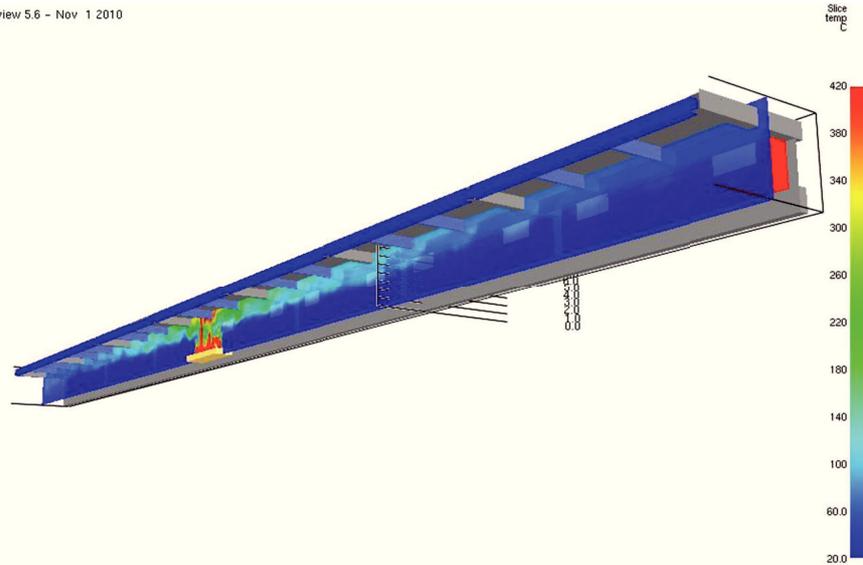


**AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA
VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO
APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO
DM 09/05/2007**

Documento:
16PF0929AL002

Pag. 37/45

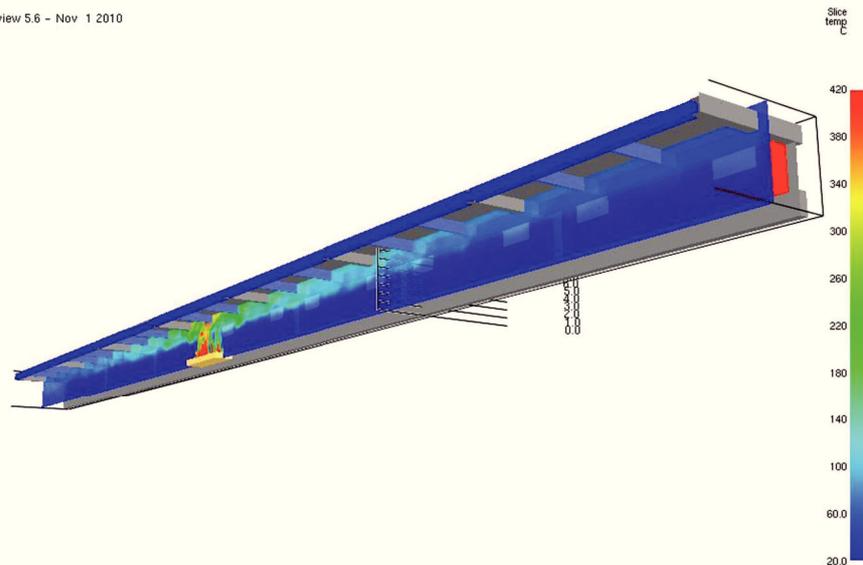
Smokeview 5.6 - Nov 1 2010



Frame: 780
Time: 780.0

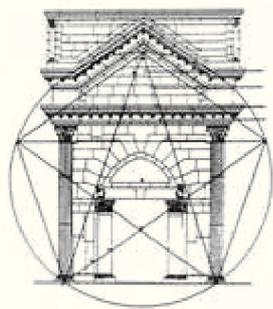
Evoluzione della temperatura (780 secondi)

Smokeview 5.6 - Nov 1 2010



Frame: 900
Time: 900.0

Evoluzione della temperatura (900 secondi)

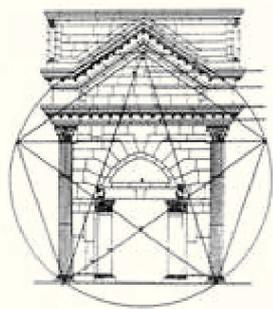


*AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA
VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO
APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO
DM 09/05/2007*

*Documento:
16PF0929AL002*

Pag. 38/45

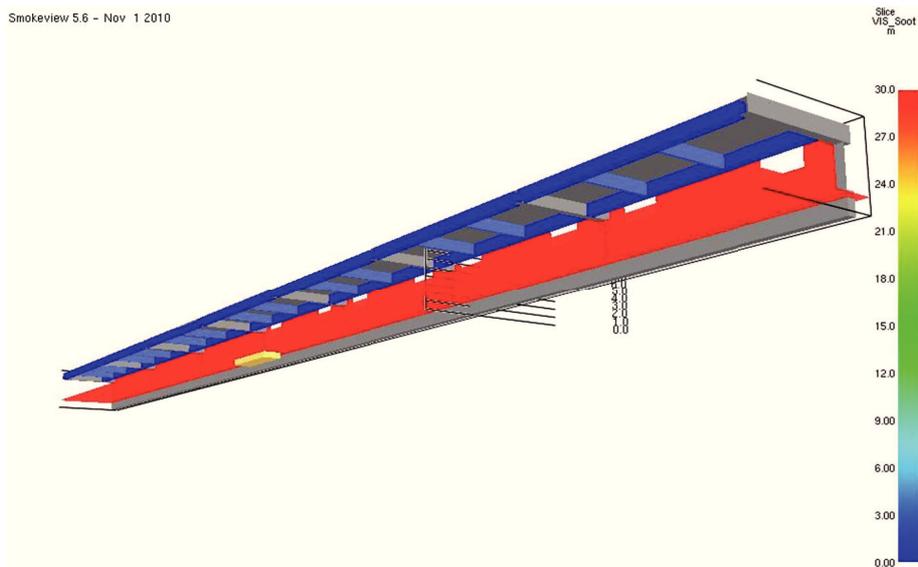
SIMULAZIONE
Visibilità



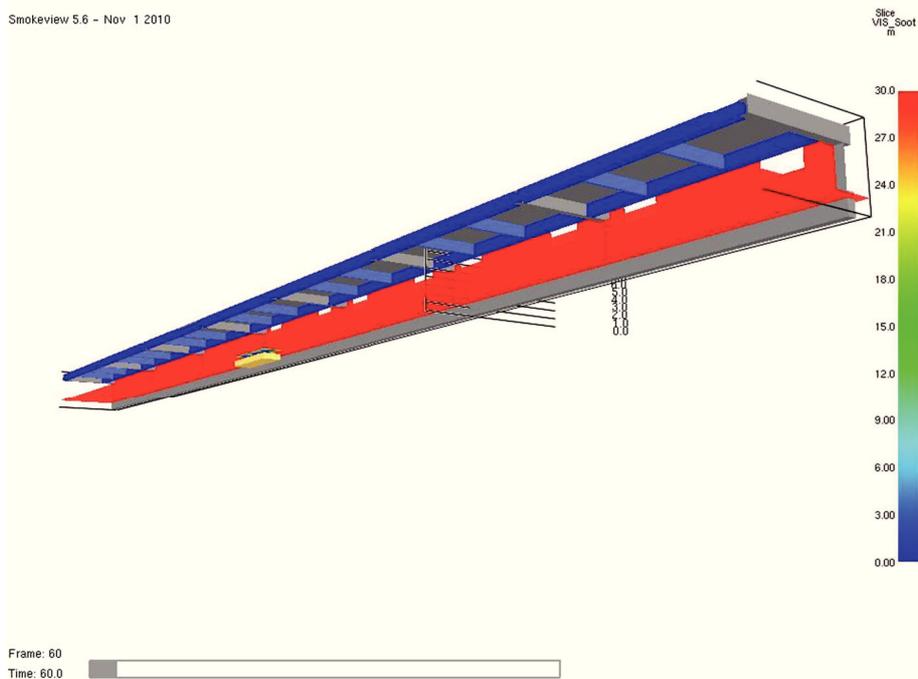
AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA
VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO
APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO
DM 09/05/2007

Documento:
16PF0929AL002

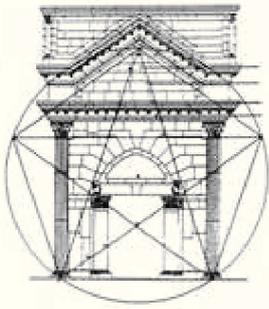
Pag. 39/45



Evoluzione della visibilità (0 secondi)



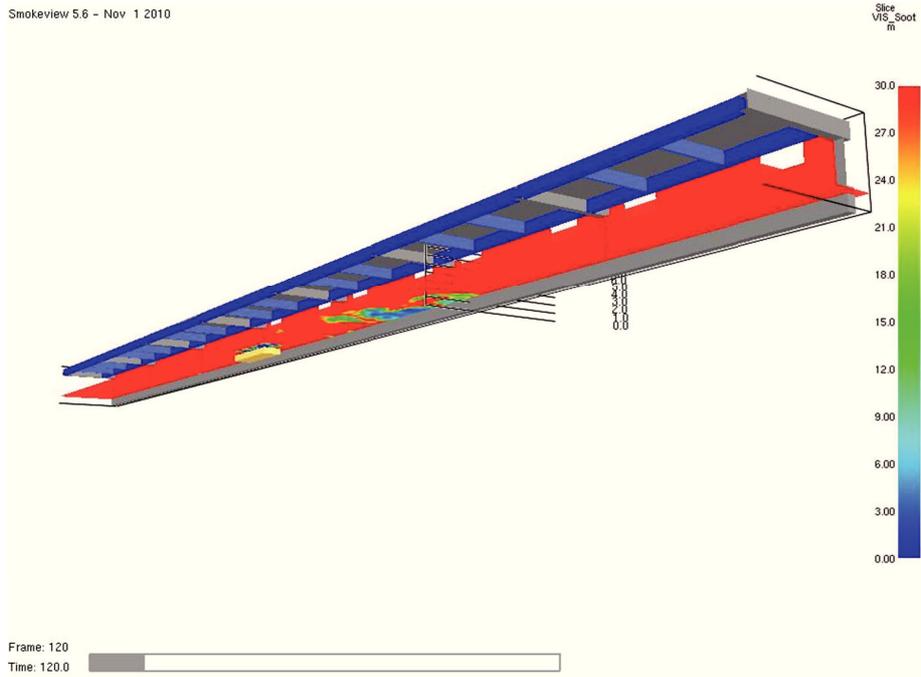
Evoluzione della visibilità (60 secondi)



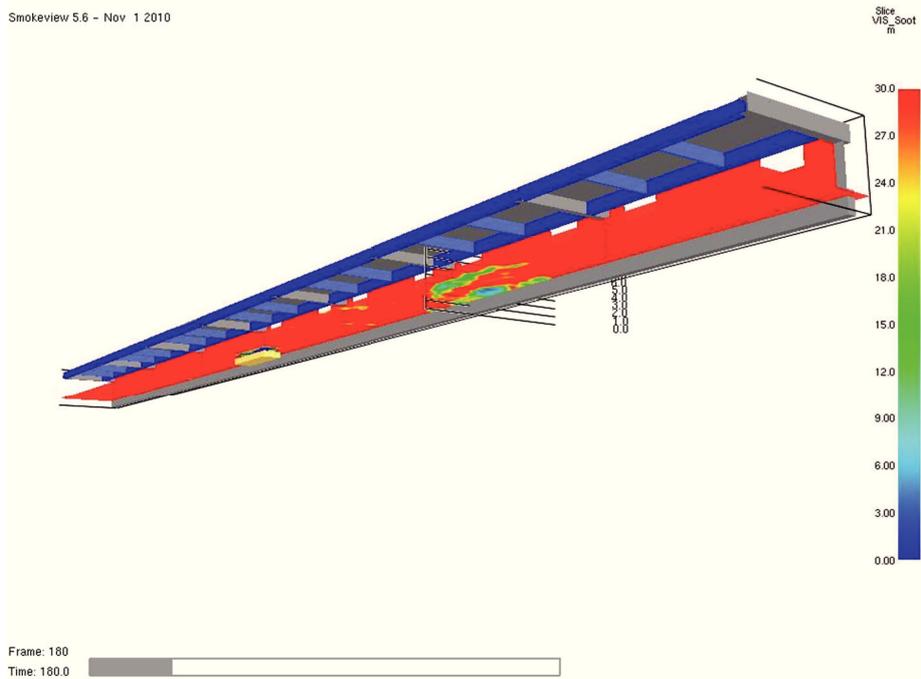
AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA
VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO
APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO
DM 09/05/2007

Documento:
16PF0929AL002

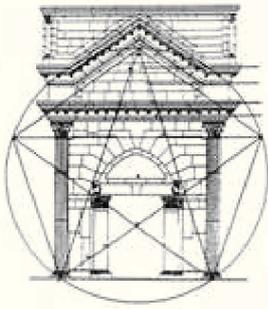
Pag. 40/45



Evoluzione della visibilità (120 secondi)



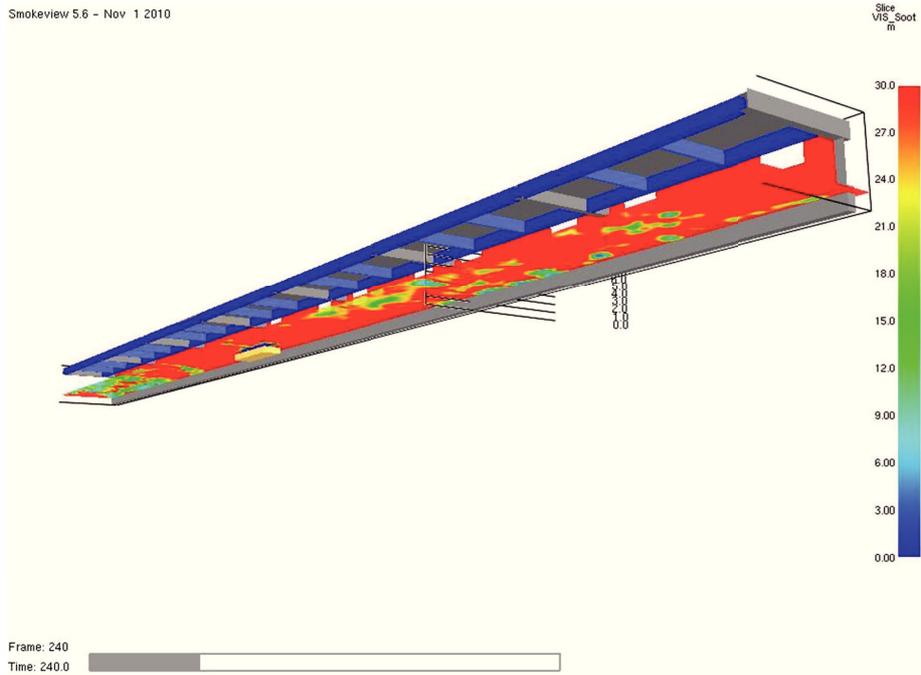
Evoluzione della visibilità (180 secondi)



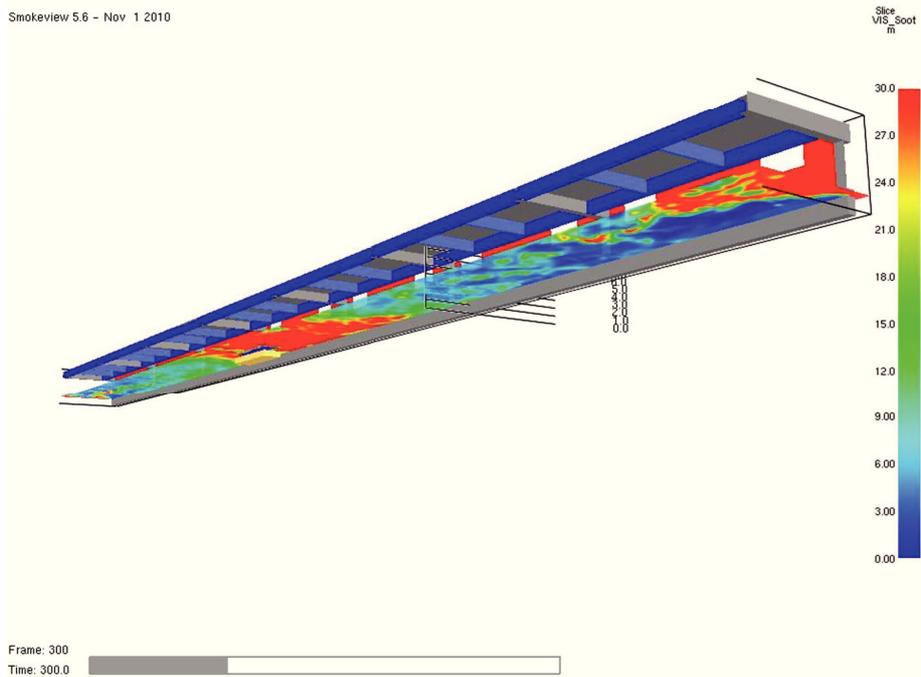
AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA
VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO
APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO
DM 09/05/2007

Documento:
16PF0929AL002

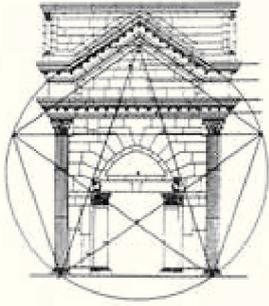
Pag. 41/45



Evoluzione della visibilità (240 secondi)



Evoluzione della visibilità (300 secondi)

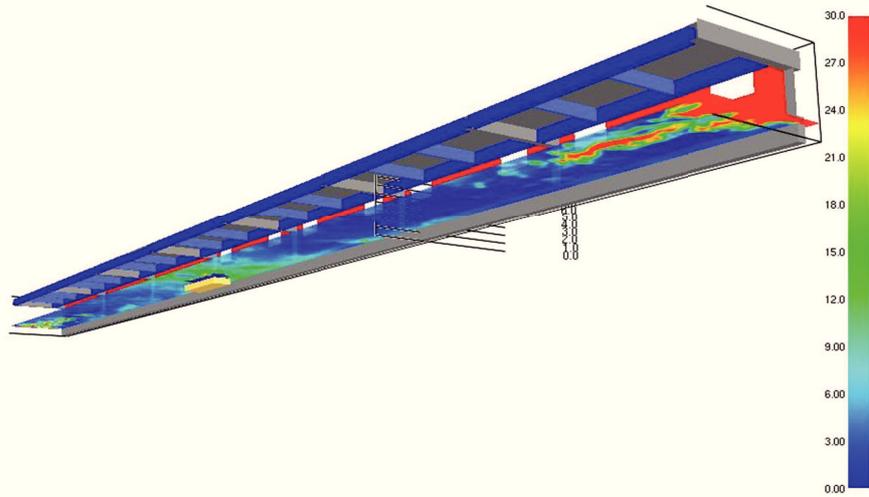


AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA
VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO
APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO
DM 09/05/2007

Documento:
16PF0929AL002

Pag. 42/45

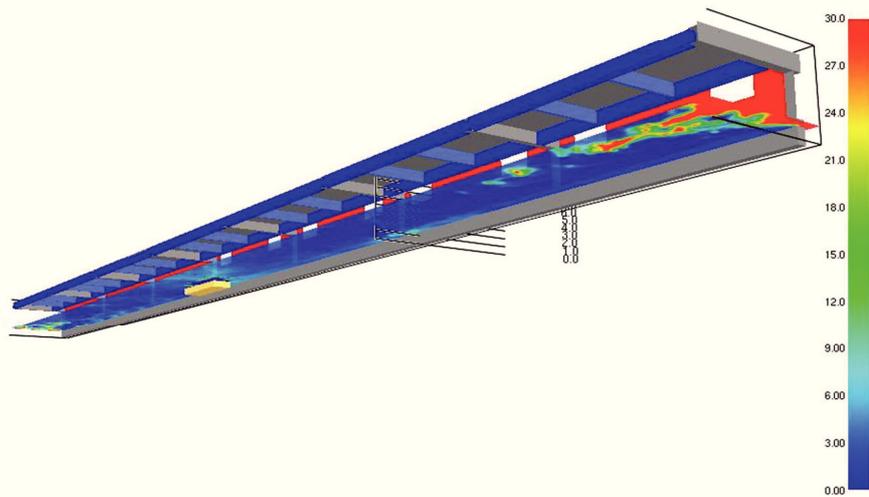
Smokeview 5.6 - Nov 1 2010



Frame: 360
Time: 360.0

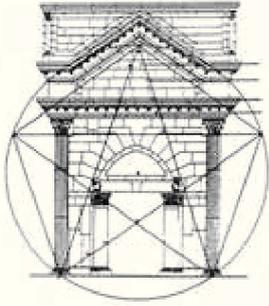
Evoluzione della visibilità (360 secondi)

Smokeview 5.6 - Nov 1 2010



Frame: 420
Time: 420.0

Evoluzione della visibilità (420 secondi)

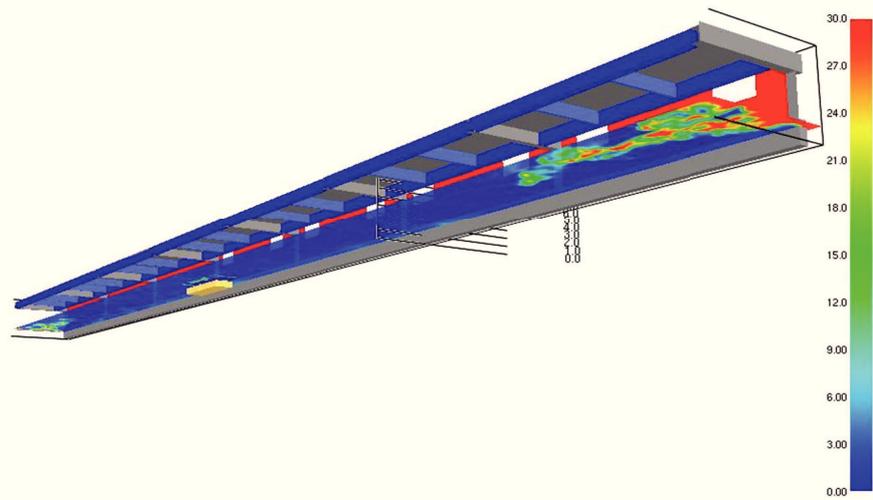


AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA
VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO
APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO
DM 09/05/2007

Documento:
16PF0929AL002

Pag. 43/45

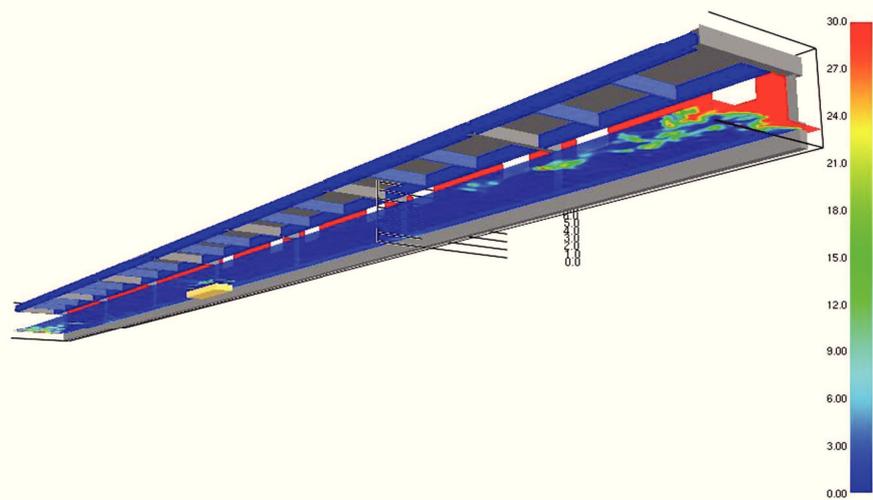
Smokeview 5.6 - Nov 1 2010



Frame: 480
Time: 480.0

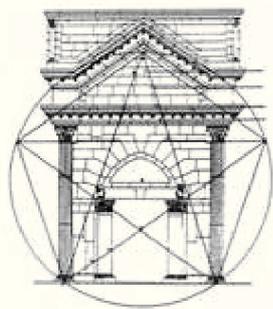
Evoluzione della visibilità (480 secondi)

Smokeview 5.6 - Nov 1 2010



Frame: 540
Time: 540.0

Evoluzione della visibilità (540 secondi)

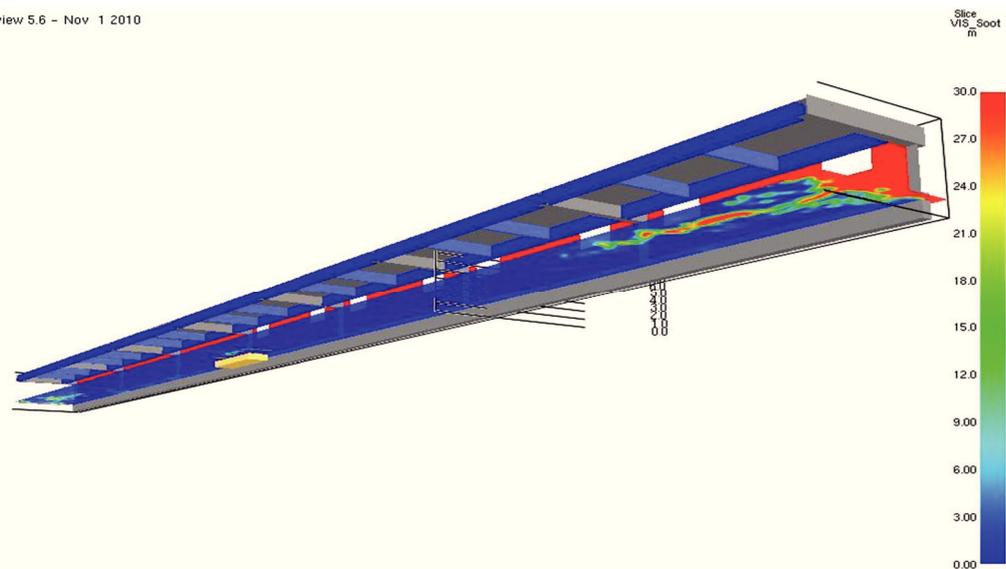


AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA
VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO
APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO
DM 09/05/2007

Documento:
16PF0929AL002

Pag. 44/45

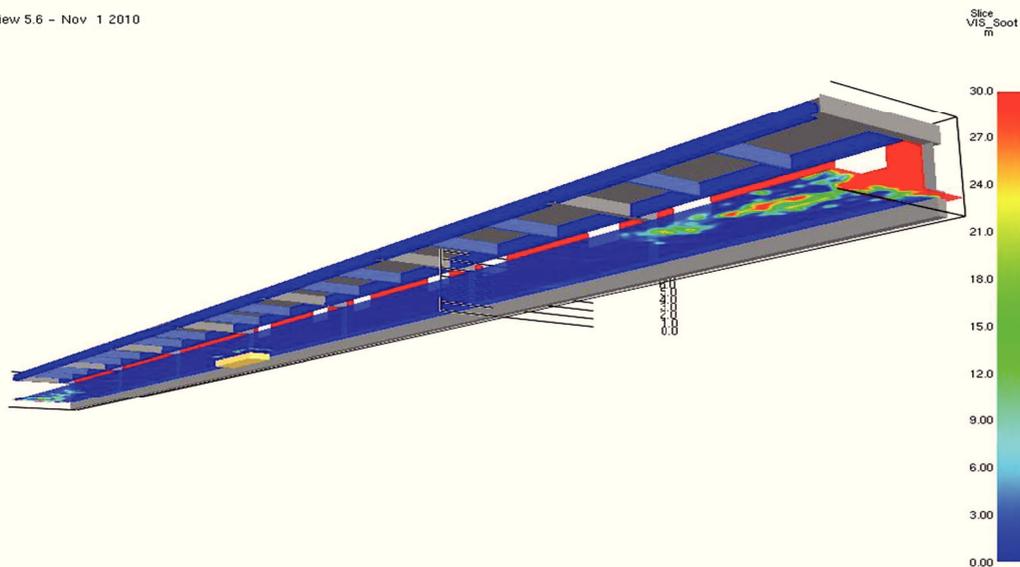
Smokeview 5.6 - Nov 1 2010



Frame: 600
Time: 600.0

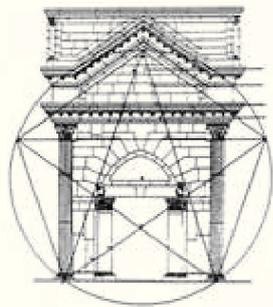
Evoluzione della visibilità (600 secondi)

Smokeview 5.6 - Nov 1 2010



Frame: 660
Time: 660.0

Evoluzione della visibilità (660 secondi)

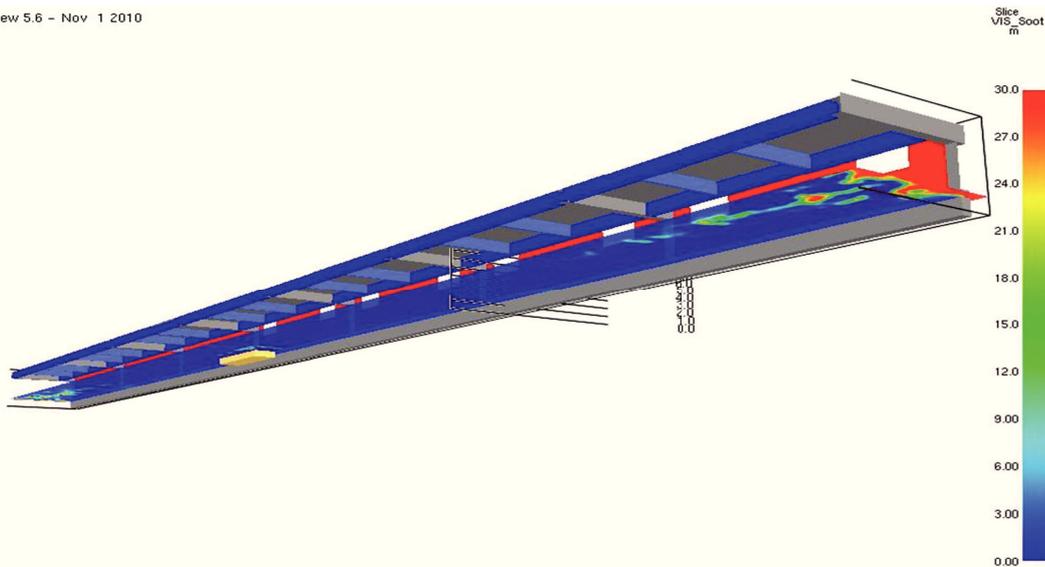


AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA
VIADOTTO/COPERTURA FONICA PALMARO
APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO
DM 09/05/2007

Documento:
16PF0929AL002

Pag. 45/45

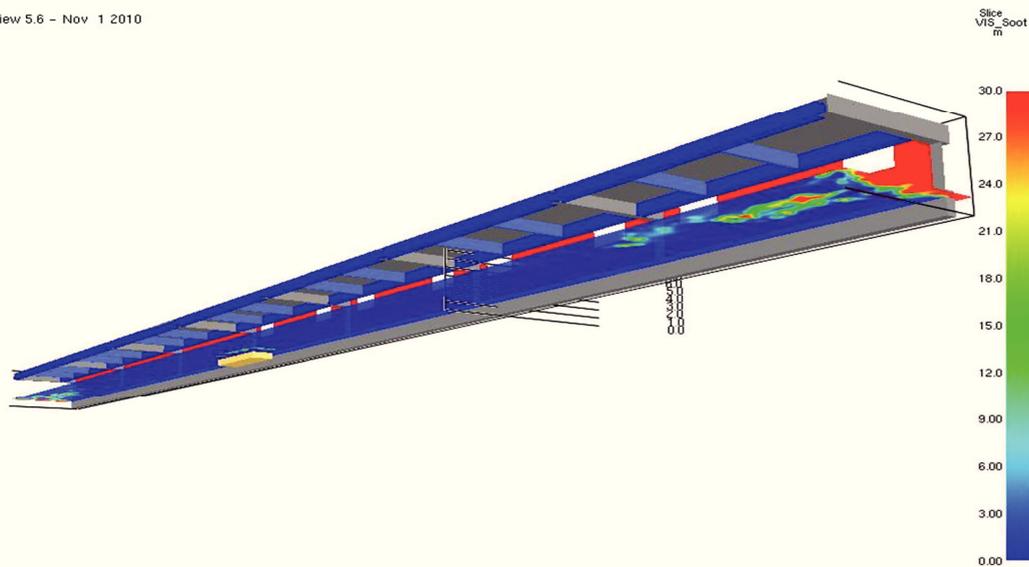
Smokeview 5.6 - Nov 1 2010



Frame: 780
Time: 780.0

Evoluzione della visibilità (780 secondi)

Smokeview 5.6 - Nov 1 2010



Frame: 900
Time: 900.0

Evoluzione della visibilità (900 secondi)