

# **STUDIO DELLA PROPAGAZIONE DI INCENDI IN AREE ADIBITE A STOCCAGGIO DEI COMBUSTIBILI NEGLI IMPIANTI DI PRODUZIONE TERMOELETTRICA A BIOMASSE.**

**Prof. P. Masini (1), Ing. M. Romano(1), Ing. F. Decandia (2),  
Ing. L. Pappalettera (3), Ing. R.M. Pavia (3), Ing. G. Giancaspro**

<sup>(1)</sup> Politecnico di Bari - Via E. Orabona, 4 – 70125 – Bari – Tel/Fax: 080/5963.484

<sup>(2)</sup> Comando Prov.le VV.F. – Bari – Via Tupputi, 52 – Bari

<sup>(3)</sup> Polyconsulting– Spin OFF del Politecnico di Bari

## **SOMMARIO**

Negli impianti di termovalorizzazione a biomasse la stagionalità dell'approvvigionamento dei combustibili utilizzati, di fronte alle esigenze di esercizio a regime il più possibile costante, impone vaste aree di stoccaggio delle masse verdi. Il principale rischio associato allo sviluppo di un incendio in tali aree è dovuto all'azione dell'energia termica sugli impianti della centrale termoelettrica.

Partendo dall'esame di un impianto, attualmente autorizzato a realizzarsi in Puglia, si intende valutare, con l'ausilio di modelli matematici, l'evoluzione di incendi nei piazzali di stoccaggio, da un livello di propagazione iniziale fino al raggiungimento di livello di propagazione massimo.

Si intende, inoltre, mediante i metodi della fire safety engineering, la soluzione progettuale ritenuta adeguata dal Comando Provinciale VVF competente, sulla base dell'expertise dei valutatori, confrontando la propagazione dell'incendio con le condizioni degli scenari ultimi, dipendenti dalle caratteristiche dell'impianto di protezione attiva.

1. Introduzione
2. Definizione dei parametri per le analisi
3. Analisi effettuate
4. Conclusioni
5. Bibliografia

## 1. INTRODUZIONE.

Il tema affrontato è la sicurezza del parco combustibili di un termovalorizzatore a biomasse nell'ipotesi sia attaccato da incendio. L'esame è partito dall'analisi di un caso concreto, ovvero un impianto progettato per insediarsi nel territorio pugliese ed autorizzato per marciare con diversi dei combustibili identificati dall'all. 2 suballegato 1 al D.M. 05/02/1998.

Dei combustibili in oggetto solo alcuni possono riguardarsi come masse legnose, tuttavia per esigenze di semplificazione del problema posto si è considerata come legnosa l'intera massa dei combustibili stoccati nel parco, di conseguenza denominato "parco legno".

Data la stagionalità nell'approvvigionamento di tale tipo di combustibili (e invero di quasi tutti quelli che l'impianto era autorizzato a bruciare), nonché l'esigenza di un funzionamento a regime il più possibile costante dei termovalorizzatori, quanto meno per la corretta gestione delle caldaie e della turbina a vapore, risulta necessaria la progettazione di una vasta area in cui stoccare i combustibili.

In dipendenza della potenza termica al focolare della caldaia in funzionamento a pieno regime, stimata una opportuna riserva di combustibile per marciare in tali condizioni per 4 settimane, è stata calcolata la necessaria area per ospitare circa 11.480t di "masse legnose".

In considerazione della logistica del parco legno e tenuto conto delle soluzioni adottate in casi analoghi nel recente passato, è stata considerata, quale soluzione ottimale, la disposizioni in cataste a sviluppo longitudinale (da 20÷25m) con sezione trasversale pressappoco quadrata (di 3÷4,5m di lato) allocate in una maglia abbastanza regolare.

Di fronte al pericolo di incendio nel parco legno è emersa l'esigenza di individuare opportunamente, sia le distanze relative fra le cataste, che i dispositivi di protezione attiva adeguati a contenere i livelli di rischio a valore sufficientemente bassi.

Nel caso del sito dell'impianto in oggetto, le superfici disponibili sono risultate relativamente limitate; pertanto, organizzata una disposizione razionale dei principali componenti dell'impianto (in primis, la caldaia, il turbogeneratore, la sottostazione elettrica, gli uffici/officina, il capannone per il cippato) sono state considerate due aree per il parco legno per complessivi 8.500mq circa.

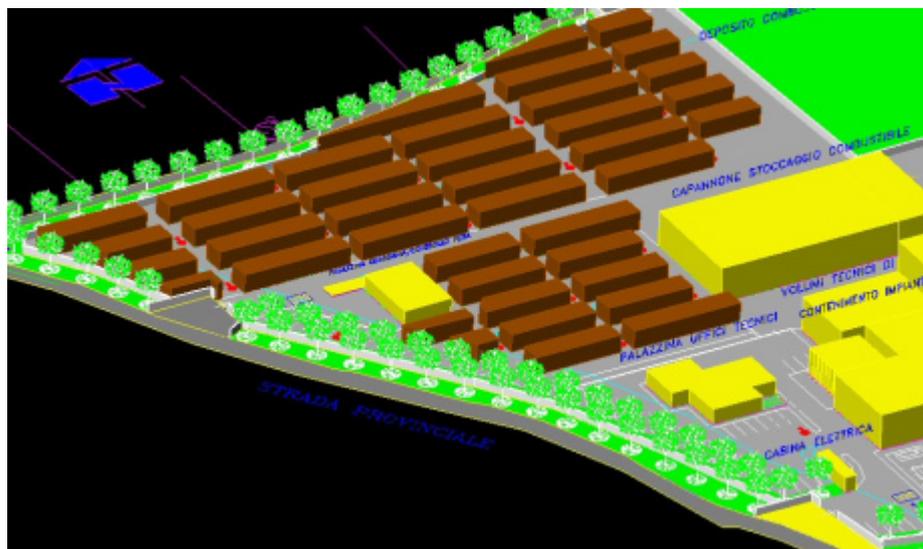


Figura 1. Disposizione plano-altimetrica dei corpi di fabbrica dell'impianto

Le cataste sono state dimensionate a 24x5m in pianta per 4,5m in altezza e disposte a 5m l'una dall'altra in senso trasversale e a 3,5m in senso longitudinale, dimensioni ritenute sufficienti per la circolazione dei mezzi di movimentazione adottati.

Il sistema di protezione attiva individuato consiste in idranti UNI45 soprasuolo da 300l/min disposti in griglia, in modo tale da consentire di poter raggiungere contemporaneamente ogni punto del parco legno con due manichette; la riserva idrica è stata dimensionata in modo da poter assecondare le esigenze del funzionamento contemporaneo di 4 idranti per 120min (ex UNI 10779).



In un approccio probabilistico in rapporto all'entità dei danni attesi al verificarsi "dello scenario ultimo" <sup>(1)</sup> si può fissare un tempo di ritorno di tale evento e fissare di conseguenza un limite alla probabilità di propagazione dell'incendio dallo "scenario" iniziale a quello ultimo:

$$p(\mathbf{F}_f | \mathbf{F}_i) = p(\mathbf{F}_f)_{lim} / p(\mathbf{F}_i) = (1/T_r) / p(\mathbf{F}_i) \quad \forall \mathbf{F}_i \in I(\mathbf{F}_i), \forall \mathbf{F}_f \in I(\mathbf{F}_f) \quad (1)$$

indicando con  $T_r$  tale tempo di ritorno e, per brevità, la configurazione del sistema nella fase iniziale dell'incendio  $C(\mathbf{F}_i)$  come  $\mathbf{F}_i$ , e quella che individua un livello di propagazione massima,  $C(\mathbf{F}_f)$ , come  $\mathbf{F}_f$ .

## 2. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI PER LE ANALISI.

La stima della  $p(\mathbf{F}_i)$  si presenta piuttosto aleatoria. Anche assumendola pari alla probabilità di primo innesco dell'incendio nel parco legno, la limitata casistica relativa ad impianti analoghi a quello considerato presenti sul territorio nazionale induce a ritenere, ove disponibili, i dati relativi ad incendi in tali tipi di impianti poco significativi per una elaborazione probabilistica. Basi di dati più solide vi sono relativamente a due eventi, che solo indirettamente possono rapportarsi a quello in oggetto, ovvero lo sviluppo di incendi in centrali termoelettriche in generale e l'innesco di incendi in agglomerati di masse legnose all'aperto.

Si considera proprio quest'ultima classe di eventi come più significativa per il nostro caso: si assume la probabilità di innesco e prima propagazione di un ordine di grandezza superiore alla probabilità di innesco di incendio in area boscata sul territorio nazionale, includendo nel computo solo quegli eventi valutati a seguito d'indagine come dovuti a cause naturali/accidentali o al più per azioni colpose dell'uomo. L'assunzione di un incremento per un fattore 10 viene giustificata, a vantaggio di sicurezza, dal tener conto di un'attività antropica nel parco legno ben maggiore di quella che si verifica in area boscata.

Sulla base dei dati del Corpo forestale dello Stato sez. AIB relativi al decennio passato (1990-1999), valutati nel 12% degli 11.164 incendi che in media per anno hanno colpito la superficie boscata nazionale (circa 8.680.000ha) si stima quindi una probabilità di innesco dell'incendio nel parco legno nell'ordine di  $2 \cdot 10^{-3}$  per anno per ettaro.

Per la stima della  $p(\mathbf{F}_f)_{lim}$  si adotta un criterio comparativo: il danno eventuale dovuto al verificarsi di uno scenario ultimo una o più volte nella vita utile dell'impianto deve risultare al più uguale al costo di tutti i presidi funzionali ad impedire che la probabilità con cui tali scenari ultimi possano verificarsi su base annua sia pari a  $p(\mathbf{F}_f)_{lim}$ .

Ovviamente tale criterio induce ad un'analisi ricorsiva: definito un set di presidi antincendio se ne valuta il costo, si deduce  $p(\mathbf{F}_f)_{lim}$  e si verifica che risulti

$$p(\mathbf{F}_f | \mathbf{F}_i) < p(\mathbf{F}_f)_{lim} / p(\mathbf{F}_i) \quad (2)$$

con la possibilità di ridurre l'entità dei presidi antincendio nel caso il primo termine sia molto minore del secondo; in caso contrario i presidi antincendio risulterebbero inadeguati.

Il danno eventuale dovuto al verificarsi di uno scenario ultimo dopo  $t$  anni dalla messa in esercizio si assume pari a  $(t_c - t)$  rate annuali costanti posticipate di ammortamento dell'intero costo di ricostruzione della centrale (v. nota 1), indicando con  $t_c$  la durata di vita economica del termovalorizzatore pari a 12 anni <sup>(2)</sup>; il danno complessivo esteso all'intera vita economica utile è pari al massimo fra le somme dei danni eventuali dovuti al verificarsi di uno scenario ultimo in più volte in anni diversi.

<sup>1</sup> Ovviamente gli scenari ultimi sono un insieme di stati del sistema "parco legno" soggetto all'incendio in misura tale da non esser più possibile lo spegnimento dello stesso coi mezzi di protezione disponibili; dal punto di vista del danno conseguente essi però possono esser considerati tutti equivalenti poiché cautelativamente gli effetti sono intesi sempre pari alla distruzione quasi totale del termovalorizzatore e la quantificazione stimata pari al costo di intera ricostruzione dell'impianto; si trascura altresì il costo di bonifica poiché nei termini di un approccio "pratico" al problema si può assumere in prima battuta gli stessi comparabili alle spese non necessarie in sede di ricostruzione (si pensi alla preparazione delle aree, la realizzazione delle strutture d'ingegneria civile recuperabili, etc.)

<sup>2</sup> Si stima in Euro 48,4 milioni di euro al 2005 il costo di realizzazione dell'impianto; la durata di vita economica viene assunta pari al maggiore fra il tempo in cui il termovalorizzatore gode di certificati verdi ai sensi delle nuove disposizioni del d.lgs. 387/2003 e il tempo minimo per il rifacimento dell'impianto ai sensi del decr.11/11/1999 e s.m.i..

Assunta per il verificarsi dell'incendio catastrofico una distribuzione alla Poisson e trascurati i termini associati al verificarsi di più di due incendi durante la vita del termovalorizzatore (poiché le probabilità condizionate avrebbero valori trascurabili) si conclude che il massimo danno eventuale si avrebbe al verificarsi di un primo incendio catastrofico intorno alla metà della vita utile della centrale e di un secondo intorno alla metà del tempo di vita rimasto.

La  $p(F_f | F_i)$  non può essere stimata in modo analitico non essendo determinabili in generale delle relazioni che collegano i parametri di base con le condizioni adottate come limite per individuare gli scenari ultimi. È possibile procedere con il metodo MonteCarlo, mediante simulazioni numeriche dell'evoluzione dell'incendio a partire da condizioni che simulano la prima propagazione, pesate in funzione delle distribuzioni di probabilità assunte per quei parametri di base che si riguardano come variabili aleatorie.

Nel caso in oggetto si considerano come parametri di base le caratteristiche geometriche della distribuzione delle masse nel parco legno, assunte come grandezze deterministiche, la posizione d'innescò e l'azione del vento assunte come grandezze statistiche; il tasso d'umidità atmosferico relativo si è assunto in prima battuta pari al valor medio nella stagione secca nella località dell'impianto, mentre sono state ritenute trascurabili altre grandezze di minor influenza.

### 3. ANALISI EFFETTUATE.

Per le simulazioni numeriche si è ricorso al codice FDS (Fire Dynamics Simulator) del NIST (*National Institute of Standards and Technology*) che simula l'evoluzione dell'incendio attraverso la risoluzione della forma delle equazioni di Navier-Stokes per i flussi a bassa velocità (Equations Rehm and Baum), tenendo conto di [2] :

- trasporto a bassa velocità di calore e prodotti di combustione di un incendio;
- trasferimento di potenza radiante e convettiva tra gas e superficie solida;
- pirolisi ;
- propagazione della fiamma;
- sprinkler e rivelatori di fumo e calore .

Dell'output si sono acquisiti in particolare l'HRR per unità di volume (e quindi l'HRR totale) ed una stima delle concentrazioni dei fumi e della visibilità; la dinamica dell'incendio è stata visualizzata per mezzo del post-processore grafico Smokeview del NIST [3].

La schematizzazione degli scenari di prima propagazione è stata effettuata ipotizzandoli equivalenti ad flusso termico pari a 3000 KW/m<sup>2</sup> applicato su un'area d'ignizione pari a circa 1.0 mq , poiché le visualizzazioni tramite smokeview evidenziano in corrispondenza di tali scenari da subito un volume di fumi tale da render l'incendio facilmente rilevabile <sup>(3)</sup>.

L'evoluzione dell'incendio andrebbe seguita, per ogni set di condizioni iniziali, sino al momento di attivazione dell'impianto di protezione: per quanto nell'introduzione, a quell'istante l'incendio avrà raggiunto o superato il punto critico (scenario ultimo) se il tasso di rilascio termico è tale che le potenzialità dell'impianto di protezione non possono sopprimerlo (cioè se all'esaurirsi della riserva idrica il tasso non è sceso sotto 11kW/mq [4] )

Per l'intervallo di tempo fra la rilevazione e l'intervento delle protezioni attive, sulla base dell'expertise dei valutatori del comando VVF, date le dimensioni dell'impianto, si ritiene più che congruo  $t=8$ min.

Il tasso di rilascio termico critico dipende dalle capacità del sistema di protezione.

I limiti per tali capacità possono essere ricercati innanzi tutto nell'applicazione di criteri di convenienza per la realizzazione delle vasche di stoccaggio della riserva idrica e della rete idraulica antincendio, ma ciò non nel caso in esame: l'utilizzazione agronomica delle acque di lavaggio del parco legno, conduceva, sulla base di uno specifico studio sui cicli stagionali di piovosità e di assorbimento idrico delle colture, alla necessità della realizzazione di vasche di stoccaggio di 1.200mc per ha di parco legno, ovvero quantità tali da ritenere trascurabile la variazioni di costi nella realizzazione dell'impianto in funzione delle dimensioni della riserva idrica.

---

<sup>3</sup> Il metodo di rilevazione più opportuno è quello visivo ad opera del personale; i mezzi di rilevamento automatico più promettenti peraltro si dimostrano proprio i sistemi di interpretazione di immagini acquisite tramite telecamere fisse, che cercano di simulare l'expertise di operatori umani, per riconoscere la presenza d'eventuali fumi da incendio [4].

Più significativo è il limite dovuto alla composizione della squadra antincendio aziendale: nei turni a minor presenza di addetti nell'impianto dall'organigramma si deduceva che il numero di operatori alle manichette non poteva superare le 4 unità (2 addetti alla movimentazione, 1 fuochista, 1 addetto alla guardiana/magazziniere, nel turno meno coperto): si desume quindi un limite per la portata totale dell'impianto di protezione attiva pari a 1200l/min.

In letteratura tecnica si ritrovano diversi studi che correlano l'azione complessiva di *fire suppression* con acqua in funzione della portata di impianti a sprinklers. Nel caso in esame si ritiene idonea la relazione di Yu *et al* in quanto validata dagli studi teorici di modellazione alla base del codice FDS:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_0 e^{-k(t-t_0)} \quad (3)$$

$$k = 0,536 \dot{m}_w'' - 0,0040$$

ponendo  $\dot{Q}_0$  pari al tasso di rilascio termico totale al momento di primo utilizzo degli idranti da parte della squadra antincendio (  $HRR(t_0)$  in kW),  $\dot{Q}$  pari al tasso di rilascio termico totale all'esaurimento della riserva idrica,  $k$  costante dipendente dal combustibile (espressa in  $s^{-1}$ ) e  $\dot{m}_w''$  pari alla parte della portata d'acqua fornita dagli sprinklers che raggiunga in modo continuativo l'unità di superficie delle masse in combustione.

Per stimare quest'ultimo parametro, in termini di portata equivalente degli idranti, si moltiplica la portata alle manichette del sistema oggetto d'analisi per un coefficiente di contemporaneità che tiene conto dell'efficienza dell'addetto nel raggiungere la massa in combustione e della necessità di intervenire con la stessa manichetta su differenti zone in combustione in intervalli di tempo successivi.

Per ridurre il numero di simulazioni numeriche sono state fissate le dimensioni delle cataste (m.20x4x4(h)), data la modesta variabilità consentita dalle citate considerazioni sulla logistica del parco legno, riducendo la caratterizzazione dalla geometria del parco legno alla distanza relativa fra le cataste (peraltro parametro più significativo per la propagazione dell'incendio perché determina la "densità" delle masse legnose nei piazzali).

Si sono effettuate delle simulazioni iniziali per valutare l'effetto della variazione delle posizioni di innesco: considerato un set centrale di 4 cataste equidistanziate di m.5, si è notato che la propagazione dell'incendio dalla prima catasta a quelle adiacenti con innesco al centro del lato maggiore, al vertice o lungo il lato minore della prima catasta avviene in tempi e con *burn rate* sostanzialmente analoghi. Dedotta una scarsa sensibilità della evoluzione dell'incendio dalla posizione di innesco, stante la simmetria del parco legno, si è fissato per le successive simulazioni l'innesco al centro del lato maggiore.

Smokeview 4.0.7 - Mar 12 2005

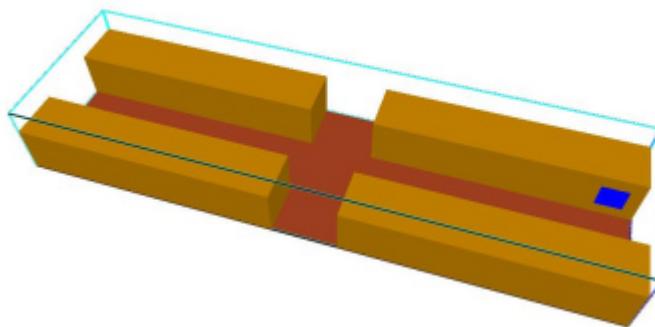


Figura 3. Simulazione preliminare con ipotesi di innesco sulla prima all'estremità del lato maggiore

Per le finalità del presente studio è stata concentrata l'attenzione sull'ipotesi che le caratteristiche dell'impianto di protezione attiva siano quelle del progetto preliminare, anche se, per quanto espresso in precedenza, possono considerarsi configurazioni differenti al più per il minor numero di idranti contemporaneamente in funzione ovvero per una diversa durata dell'intervento di spegnimento. In queste ipotesi si calcola di fronte ad un costo stimato dell'impianto di spegnimento pari a 190.000€ una  $p(\mathbf{F}_f)_{lim} \approx 1,1 \cdot 10^{-3}$  e quindi per il parco legno da 0,85ha :

$$p(\mathbf{F}_f | \mathbf{F}_i) = 1,1 \cdot 10^{-3} / (0,85 \times 2 \cdot 10^{-3}) \approx 0,6 \quad (4)$$

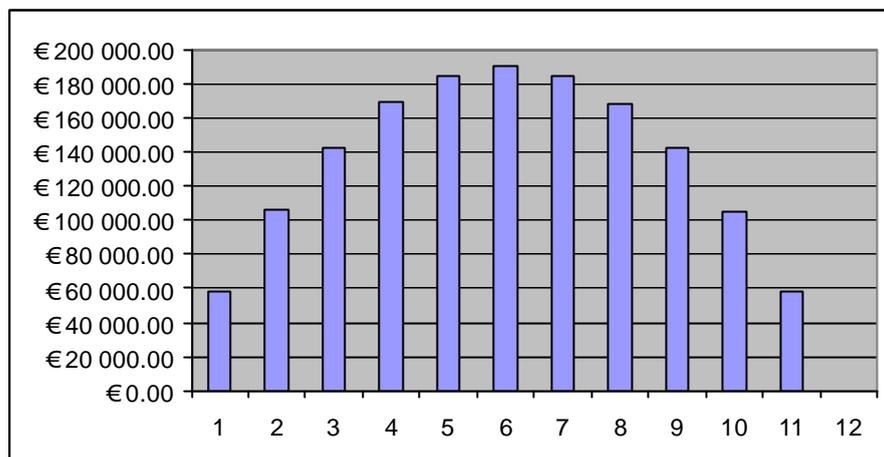


Figura 4. Stima del danno eventuale al variare del tempo (in anni) di prima occorrenza di uno scenario ultimo d'incendio nel parco legno per  $p(\mathbf{F}_f)_{lim} \approx 1,1 \cdot 10^{-3}$

In corrispondenza, gli scenari ultimi sono caratterizzati da un HRR totale enorme, valutato con la (1), assunta come area di intervento per la singola manichetta l'insieme delle superfici laterali delle facce di due cataste fronteggianti l'idrante, pari  $5 \cdot 10^{13}$  kW.

Nel contempo le simulazioni preliminari suggeriscono una crescita dell'HRR che, per disposizioni piuttosto prossime delle cataste, non supera dopo alcuni minuti valori l'ordine di  $10^4$  kW in condizioni di vento d'intensità trascurabile.

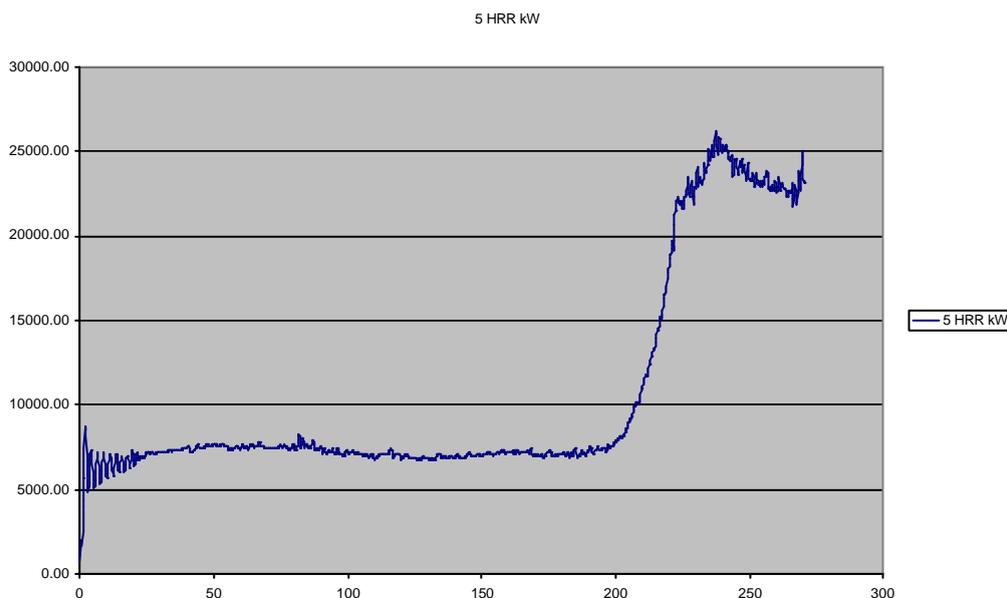


Figura 5. Variazione nel tempo dell'HRR per una distanza reciproca delle cataste di m.5 in assenza di vento.

#### 4. CONCLUSIONI.

Per quanto appena detto si è ritenuto non proficuo un approfondimento dell'analisi sul piano statistico. Una ulteriore simulazione, eseguita per l'intero intervallo  $t=8\text{min}$  su una schematizzazione di una maggiore porzione del parco legno di "densità" ancora più spinta, praticamente pari al limite ammissibile per esigenze logistiche (distanze relative fra le cataste pari m.3,5 nella direzione dei lati lunghi e m.5 nella direzione dei lati corti), nell'ipotesi di vento agente in direzione tale da favorire la propagazione dell'incendio e con intensità estremamente elevata ( $v=26\text{m/s}$  pari a un  $T_r=50\text{anni}$ , per [5]), ha condotto ad un valore dell'HRR totale ancora nell'ordine dei  $10^4\text{kW}$ .

Smokeview 4.0.7 - Mar 12 2006

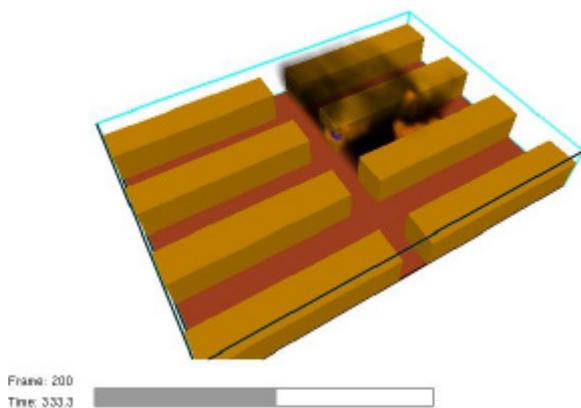


Figura 6. Propagazione dell'incendio nell'ultima simulazione effettuata a  $t\approx 5\text{min}$ .

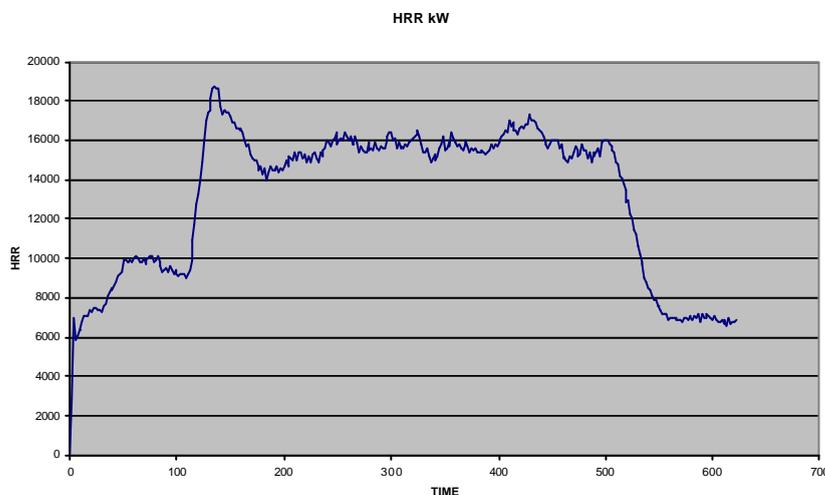


Figura 7. Variazione nel tempo dell'HRR nell'ultima simulazione effettuata.

Pertanto, è risultato statisticamente impossibile individuare set di parametri di base che, con distanze già particolarmente ridotte fra le cataste, siano in grado di dar luogo allo sviluppo di incendi, che entro il tempo di intervento possano configurare scenari lontanamente paragonabili a quello ultimo che l'impianto di protezione attiva di progetto è in grado di affrontare; il che induce a ritenere  $p(\mathbf{F}_r | \mathbf{F}_i) \ll 0,6$ .

Ciò implica che la valutazione effettuata sulla base dell'expertise è largamente cautelativa; infatti, nelle suddette condizioni critiche, lo scenario ultimo non risulterebbe raggiungibile con probabilità statisticamente significative anche con l'adozione di un impianto di protezione meno prestazionale.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] P. Masini, G. Micunco, F. Decandia, L. Pappalettera, R. M. Pavia, G. Giancaspro, “Problematiche di sicurezza nella gestione dello stoccaggio di combustibili nell’impianti di produzione termoelettrica a biomasse”, Atti del convegno nazionale “Sicurezza nei sistemi complessi” – Bari, 2005
- [2] K.B. McGrattan, H.R. Baum, R.G. Rehm, G.P. Forney, J.E. Floyd, K. Prasad, and S. Hostikka, Fire Dynamics Simulator (Version 4), Technical Reference Guide. Technical Report NISTIR 1018, 2005 Edition, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, September 2005
- [3] G.P. Forney and K.B. McGrattan, User’s Guide for Smokeview Version 3.1: A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data. Technical Report NISTIR 6980, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, April 2003.
- [4] La Malfa, A. “Ingegneria della sicurezza antincendio” – Edizioni: Legislazione tecnica, 2003.
- [5] UNI EN 1991-2-4 “Eurocodice 1. Basi di calcolo ed azioni sulle strutture. Parte 2-4: Azioni sulle strutture - Azioni del vento”.