

INAIL



Il Codice di prevenzione incendi, applicazioni pratiche per la progettazione antincendio



Valutazione irraggiamento termico verso un bersaglio esterno

PIATTAFORMA WEBINAR FONDAZIONE CNI

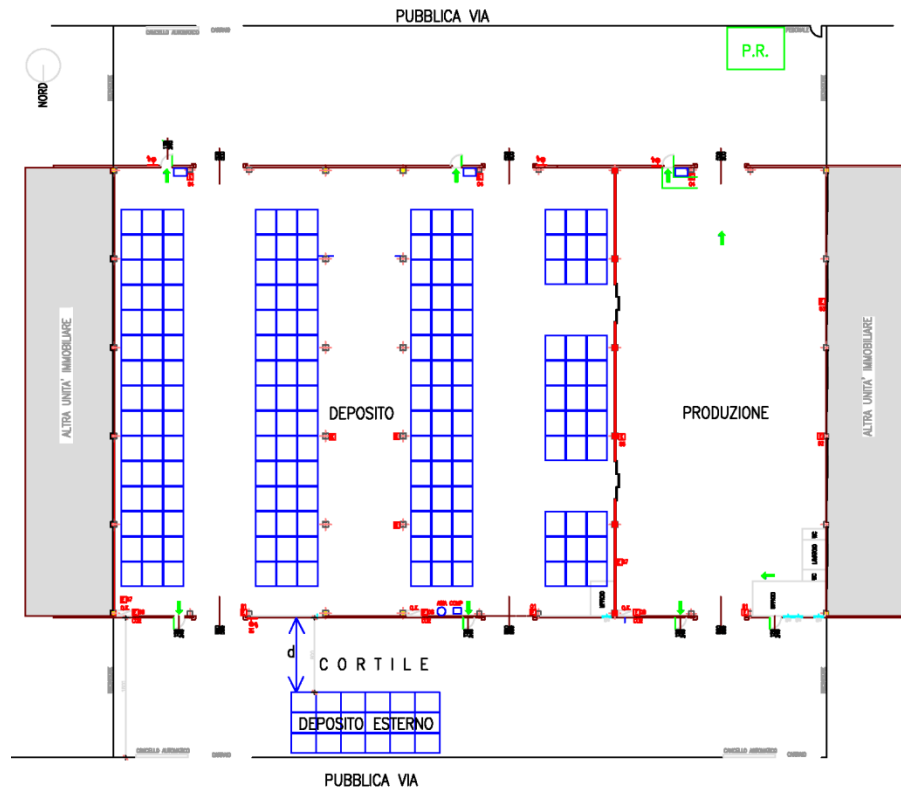
martedì 15 dicembre 2020

Relatore

ING. MAURO GALVAN

CASO DI STUDIO

- Azienda operante nel settore della lavorazione del pellame
- Sede aziendale inserita in una porzione di edificio industriale con attività confinanti di terzi
- Attività suddivisa in 2 compartimenti: **area produttiva** e **area deposito**
- Materiali detenuti costituiti principalmente da pellami posti su pallet in legno
- Presenza di deposito esterno di pallet posti nel cortile dell'attività
- Attività classificata al punto 70.1.B dell'Allegato I del d.p.r. 1 agosto 2011 n. 151
- Obiettivo: non superamento della soglia di irraggiamento termico dal capannone al deposito esterno



Requisito

- Interposizione di distanza di separazione su spazio a cielo libero
- Obiettivo da raggiungere → Potenza radiante $< 12,6 \text{ kW/m}^2$ (E_{soglia})

Metodologia conforme

Calcolo della distanza di separazione con

- **metodo tabellare** (par. S.3.11.2)
- **metodo analitico** (par. S.3.11.3)

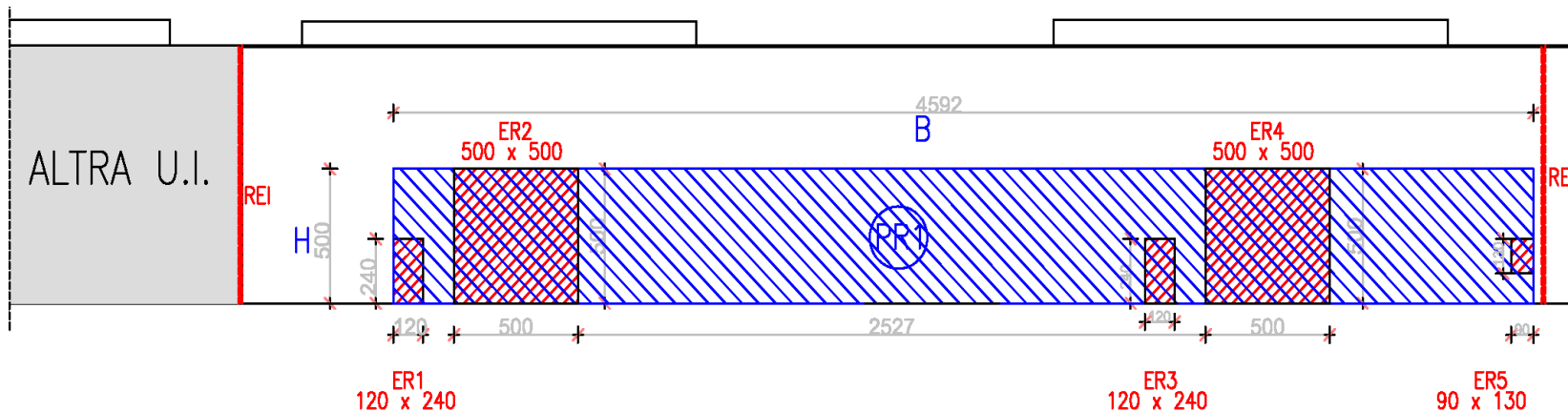
Metodologia alternativa

- Calcolo del fattore di vista F_{2-1} utilizzando il metodo di cui all'Allegato G della norma EN 1991-1-2

CARICO DI INCENDIO

Compartimento area produzione	Superficie in pianta lorda A (m ²)	Materiale combustibile	m _i	Ψ _i	Quantità	u.m.	Potere calor. inf. H _i (MJ/kg)	u.m.	Carico d'incendio q = Σ g _i H _i m _i Ψ _i (MJ)	Carico d'incendio specifico q _f = q / A (MJ/m ²)
	1.066	pellami	1	1	2.100	kg	21,00	MJ/kg	44.100	
		pallet (30 kg/cad) / 50 pezzi	0,8	1	1.500	kg	17,50	MJ/kg	21.000	
		plastica (contenuta nello stucco)	1	1	30	kg	41,00	MJ/kg	1.230	
		plastica	1	1	10	kg	41,00	MJ/kg	410	
		cartoni	0,8	1	50	kg	17,50	MJ/kg	700	
		legno arredi (scrivanie, sedie e armadi)	0,8	1	400	kg	17,50	MJ/kg	5.600	
		materiale cartaceo	0,8	1	200	kg	17,50	MJ/kg	2.800	
								totale	75.840	71
q _f < 600 MJ/m ² → Soluzione conforme -distanza separazione 3,5m										
Compartimento area deposito	Superficie in pianta lorda A (m ²)	Materiale combustibile	m _i	Ψ _i	Quantità	u.m.	Potere calor. inf. H _i (MJ/kg)	u.m.	Carico d'incendio q = Σ g _i H _i m _i Ψ _i (MJ)	Carico d'incendio specifico q _f = q / A (MJ/m ²)
	2.524	pellami	1	1	175.000	kg	21,00	MJ/kg	3.675.000	
		pallet (30 kg/cad) / 200 pezzi	0,8	1	7.500	kg	17,50	MJ/kg	105.000	
		plastica (contenuta nello stucco)	1	1	800	kg	41,00	MJ/kg	32.800	
		plastica	1	1	200	kg	41,00	MJ/kg	8.200	
		cartoni	0,8	1	200	kg	17,50	MJ/kg	2.800	
		legno arredi (scrivanie, sedie e armadi)	0,8	1	100	kg	17,50	MJ/kg	1.400	
		materiale cartaceo	0,8	1	50	kg	17,50	MJ/kg	700	
								totale	3.825.900	1516
q _f > 600 MJ/m ² → calcolo distanza										

COMPARTIMENTO DEPOSITO – METODO ANALITICO PIASTRE RADIANTI



sorgente: parete del compartimento deposito;

bersaglio: deposito esterno di materiale combustibile.

Elementi radianti			Piastra radiante PR1			p (%)
Codice	Dimensioni (mm x mm)	sup. (m²)	Codice	Dimensioni (m x m)	sup. (m²)	56,93 / 229,60
ER1	120 x 240	2,88	PR1	B = 45,92 H = 5,00	229,60	
ER2	500 x 500	25,00				
ER3	120 x 240	2,88				
ER4	500 x 500	25,00				
ER5	90 x 130	1,17				
Totale		56,93		Totale	229,60	24,80%

$$F_{2-1} * E_1 * \varepsilon_f < E_{soglia}$$

dove:

- F_{2-1} è il fattore di vista;
- E_1 è la potenza termica radiante dovuta all'incendio convenzionale in kW/m²;
- ε_f è l'emissività della fiamma (ricavabile dalla formula S.3-8);
- E_{soglia} è la soglia di irraggiamento dell'incendio sul bersaglio in kW/m².

- B è la lunghezza della piastra radiante in m.
- H è l'altezza della piastra radiante in m;
- p è la percentuale di foratura della piastra radiante.

COMPARTIMENTO DEPOSITO – METODO ANALITICO PIASTRE RADIANTI

Il fattore di vista rappresenta la frazione di energia radiante che abbandona il corpo sorgente e raggiunge il corpo bersaglio ed è calcolato secondo la relazione S.3-4:

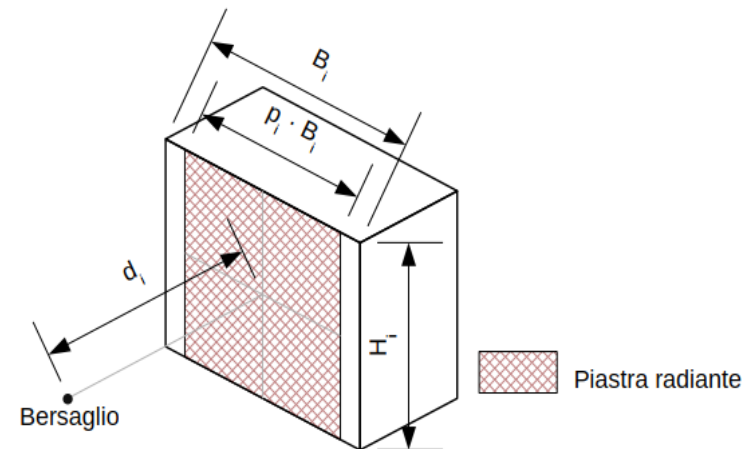
$$F_{2-1} = \frac{2}{\pi} \left[\frac{X}{\sqrt{(1+X^2)}} \tan^{-1} \left(\frac{Y}{\sqrt{(1+X^2)}} \right) + \frac{Y}{\sqrt{(1+Y^2)}} \tan^{-1} \left(\frac{X}{\sqrt{(1+Y^2)}} \right) \right]$$

Supponendo che gli elementi radianti siano distribuiti verticalmente al centro della piastra radiante, si calcola:

$$X = \frac{B_i \cdot p_i}{2d_i}$$

$$Y = \frac{H_i}{2d_i}$$

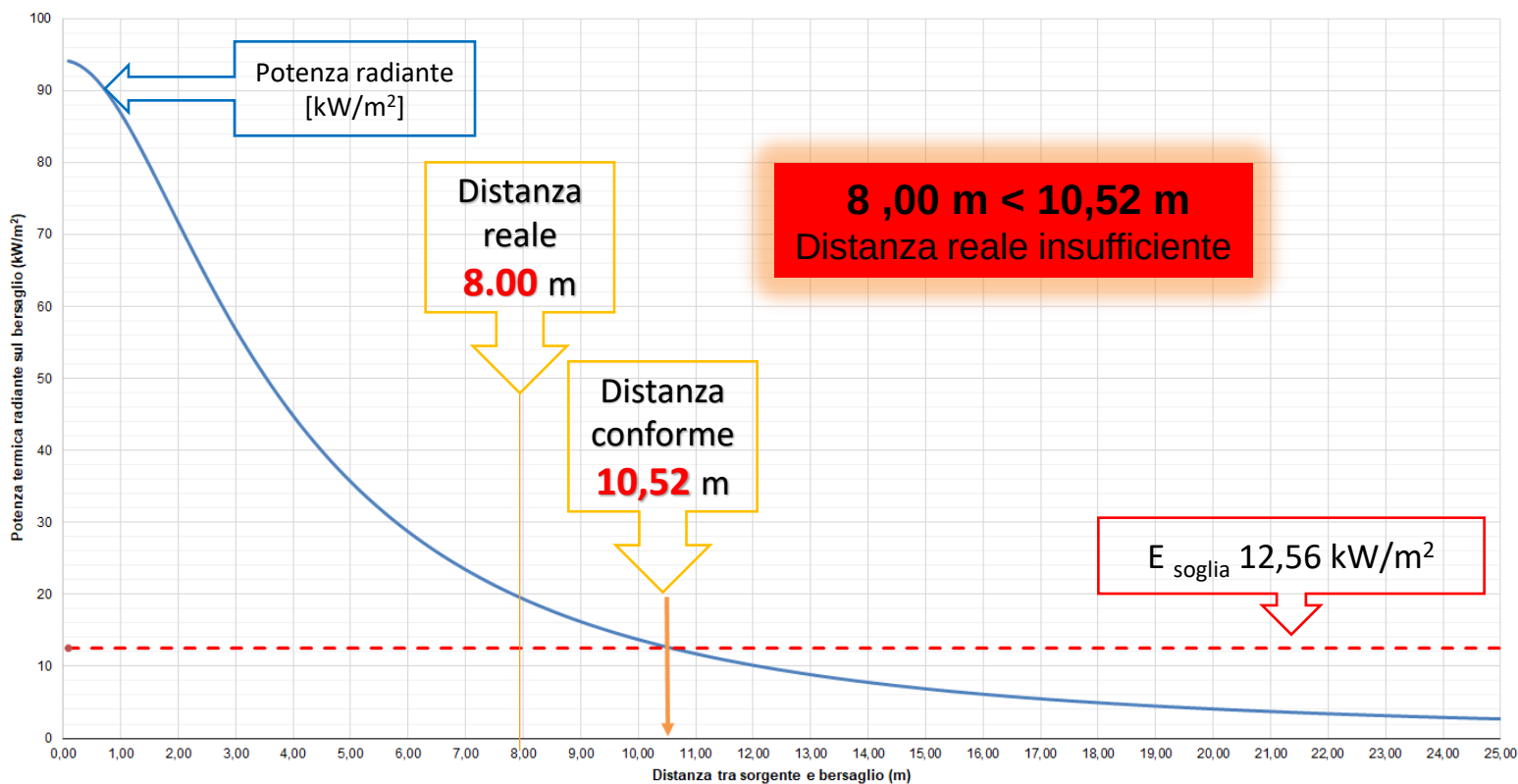
- B_i è la lunghezza i-esima piastra radiante in m.
- H_i è l'altezza i-esima piastra radiante in m;
- p_i è la percentuale di foratura dell'i-esima piastra radiante;
- d_i è la distanza tra l'i-esima piastra radiante ed il bersaglio in m.



COMPARTIMENTO DEPOSITO – METODO ANALITICO PIASTRE RADIANTI

$$F_{2-1} * E_1 * \epsilon_f < E_{\text{soglia}}$$

- Essendo $q_f > 1200 \text{ MJ/m}^2$, dalla relazione S.3-6 $\rightarrow E_1 = 149 \text{ kW/m}^2$
- d_f spessore fiamma pari ai 2/3 dell'altezza del varco da cui esce la fiamma (par. S.3.11.3.6) qui posta a 5 m $\rightarrow d_f = 3,33 \text{ m}$
- $\epsilon_f = 1 - e^{-0,3 d_f} \rightarrow \epsilon_f = 0,63212056$



COMPARTIMENTO DEPOSITO – METODO TABELLARE PIASTRE RADIANTI

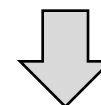
Applicando la procedura tabellare, riportata al par. S.3.11.2, utilizzando la tab.S.3.10, si ottiene:

B _i [m]	H _i [m]																			
	3		6		9		12		15		18		21		24		27		30	
	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β
3	2,5	1,0	4,0	0,9	5,0	0,7	5,7	0,6	6,2	0,5	6,5	0,4	6,8	0,4	7,0	0,3	7,1	0,3	7,2	0,3
6	3,2	1,6	5,2	1,8	6,8	1,7	8,1	1,5	9,2	1,4	10,1	1,2	10,9	1,1	11,5	1,0	12,0	0,9	12,5	0,8
9	3,5	2,1	6,0	2,5	8,0	2,6	9,6	2,5	11,0	2,4	12,3	2,2	13,4	2,1	14,4	1,9	15,3	1,7	16,0	1,6
12	3,7	2,6	6,6	3,1	8,8	3,3	10,7	3,3	12,4	3,3	13,9	3,2	15,2	3,0	16,5	2,9	17,6	2,7	18,6	2,6
15	3,7	2,9	7,0	3,6	9,5	3,9	11,6	4,1	13,4	4,1	15,1	4,1	16,6	4,0	18,1	3,9	19,4	3,7	20,6	3,6
18	3,7	3,3	7,3	4,1	10,0	4,5	12,3	4,8	14,3	4,9	16,1	4,9	17,8	4,9	19,4	4,8	20,9	4,7	22,3	4,5
21	3,6	3,6	7,5	4,5	10,4	5,0	12,9	5,4	15,1	5,6	17,0	5,7	18,9	5,7	20,6	5,7	22,2	5,6	23,7	5,5
24	3,5	3,9	7,6	4,9	10,7	5,5	13,4	6,0	15,7	6,2	17,8	6,4	19,8	6,5	21,6	6,5	23,3	6,5	24,9	6,4
27	3,3	4,1	7,6	5,3	11,0	6,0	13,8	6,5	16,3	6,8	18,5	7,0	20,6	7,2	22,5	7,3	24,3	7,3	26,0	7,2
30	3,2	4,4	7,7	5,6	11,2	6,4	14,2	7,0	16,8	7,4	19,1	7,7	21,3	7,9	23,3	8,0	25,2	8,0	27,0	8,1
40	2,6	5,1	7,5	6,7	11,6	7,8	15,0	8,5	18,0	9,1	20,8	9,5	23,3	9,9	25,6	10,2	27,8	10,4	29,8	10,5
50	2,2	5,6	7,0	7,7	11,5	8,9	15,4	9,9	18,8	10,6	21,9	11,2	24,7	11,7	27,3	12,1	29,7	12,4	32,0	12,7
60	1,8	6,1	6,5	8,5	11,3	10,0	15,5	11,1	19,3	12,0	22,6	12,7	25,7	13,3	28,6	13,8	31,2	14,2	33,8	14,6

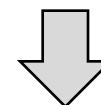
Per valori di B_i e H_i intermedi a quelli riportati in tabella si approssima al valore immediatamente successivo.
In alternativa può essere impiegata iterativamente la procedura analitica di cui al paragrafo S.3.11.3.

TABELLA S.3-10: COEFFICIENTI A E B PER ATTIVITÀ CON CARICO DI INCENDIO SPECIFICO Q_f > 1200 MJ/m²

- B = 45,92 m → si adotta B_i = 50 m;
- H = 5,00 m → si adotta H_i = 6 m.



$$\alpha = 7,00 \quad \beta = 7,7$$



$$d = \alpha p + \beta = 7,00 * 0,248 + 7,7 = 9,44 \text{ m}$$

8,00 m < 9.44 m
Distanza reale insufficiente

SOLUZIONE ALTERNATIVA –CALCOLO FATTORE DI VISTA

Determinazione del fattore di vista secondo le indicazioni dell'Eurocodice 1991-1-2 –App.G

Lo scenario adottato è quello illustrato nella figura G.3

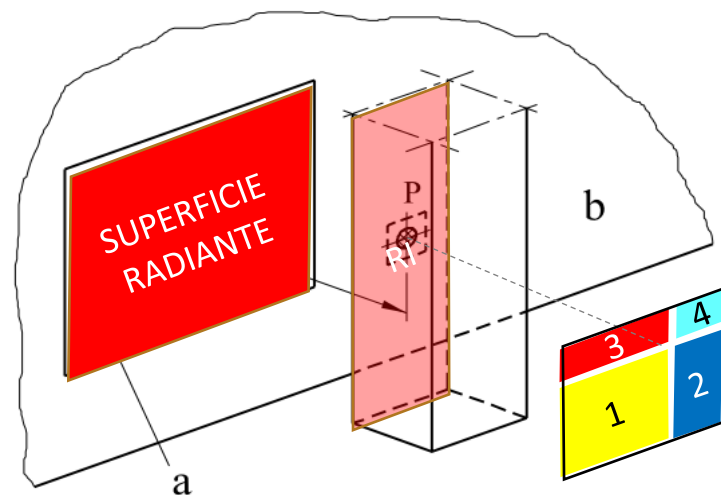
figura G.3

Superficie ricevente in un piano parallelo a quello della superficie radiante

Legenda

- a Superficie radiante
- b Superficie ricevente

L'Eurocodice richiede di calcolare il fattore di configurazione (di vista) di ognuna delle **4 sub-sorgenti** determinate dalla suddivisione della sorgente rispetto alla proiezione di P sulla sorgente stessa.



$$F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

ESEMPIO **SCENARIO A** Proiezione del bersaglio cade al centro della superficie della sorgente

SORGENTE

portone

7,00 m x 5,00 m

→

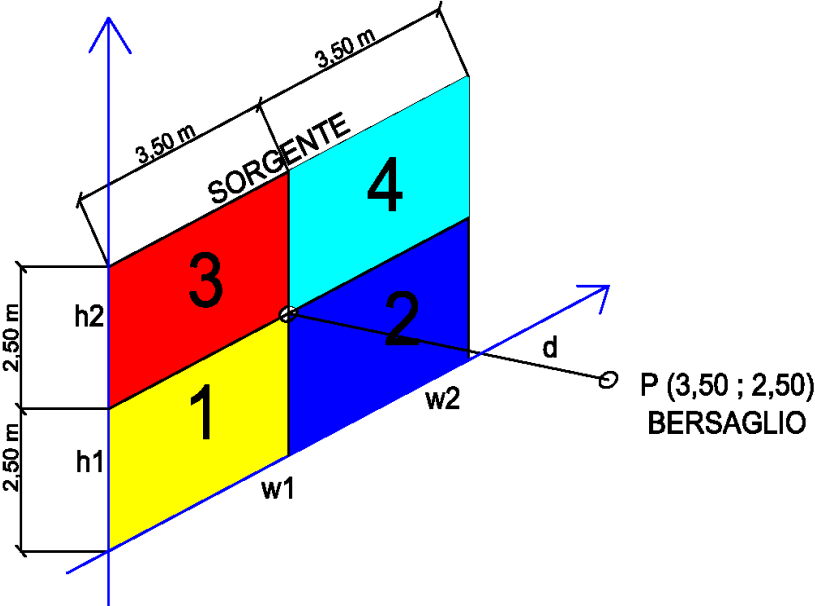
→

→

BERSAGLIO

punto

posto a 8,50 m



SCENARIO A

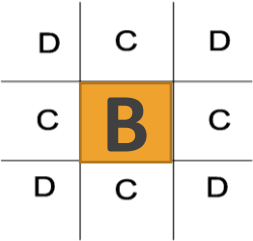
d=	Distanza	Dimensioni (m)		Parametri		Fattore di vista
	8,5					
	Sub Sorgente	w	h	a	b	Φ
	1	3,50	2,50	0,29	0,41	0,033
	2	3,50	2,50	0,29	0,41	0,033
	3	3,50	2,50	0,29	0,41	0,033
4	3,50	2,50	0,29	0,41	0,033	
Φ 0,132						

$F_{RTO} = 0,132$

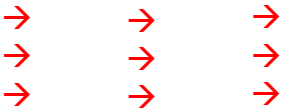
$$\Phi = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{a}{\sqrt{1+a^2}} \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{1+a^2}} + \frac{b}{\sqrt{1+b^2}} \tan^{-1} \frac{a}{\sqrt{1+b^2}} \right]$$

- Dove
- $a = h/d$;
 - $b = w/d$;
 - d è la distanza tra il bersaglio e la sorgente
 - h è l'altezza della zona sulla superficie radiante;
 - w è la larghezza della zona sulla superficie radiante.

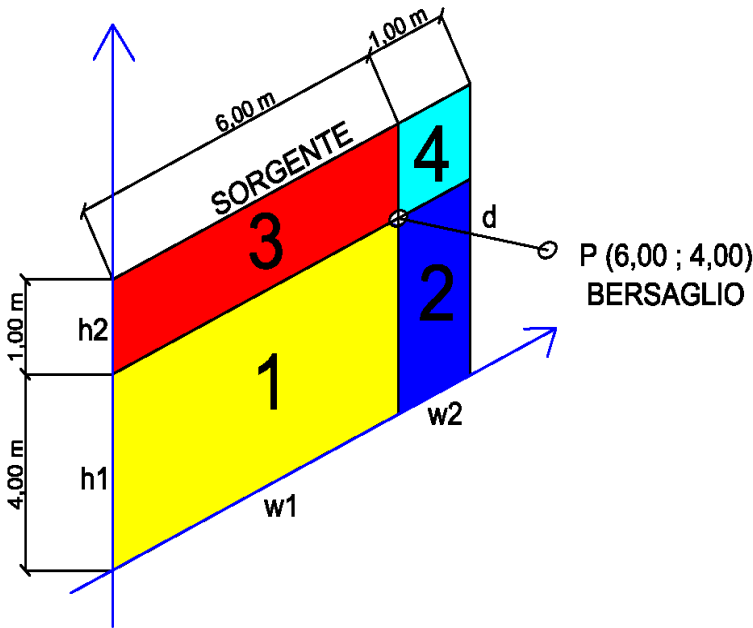
ESEMPIO **SCENARIO B** Proiezione del bersaglio nella della superficie della sorgente



SORGENTE
portone
7,00 m x 5,00 m



BERSAGLIO
punto
posto a 8,50 m



SCENARIO B

Distanza d=	Dimensioni (m)		Parametri		Fattore di vista
	w	h	a	b	Φ
8,5					
Sub Sorgente					
1	6,00	4,00	0,47	0,71	0,072
2	1,00	4,00	0,47	0,12	0,015
3	6,00	1,00	0,12	0,71	0,020
4	1,00	1,00	0,12	0,12	0,004

Φ 0,112

$F_{RTO} = 0,132$

$$\phi = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{a}{\sqrt{(1+a^2)}} \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{(1+a^2)}} + \frac{b}{\sqrt{(1+b^2)}} \tan^{-1} \frac{a}{\sqrt{(1+b^2)}} \right]$$

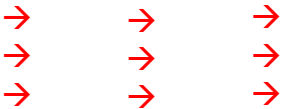
Dove

- $a = h/d$;
- $b = w/d$;
- d è la distanza tra il bersaglio e la sorgente
- h è l'altezza della zona sulla superficie radiante;
- w è la larghezza della zona sulla superficie radiante.

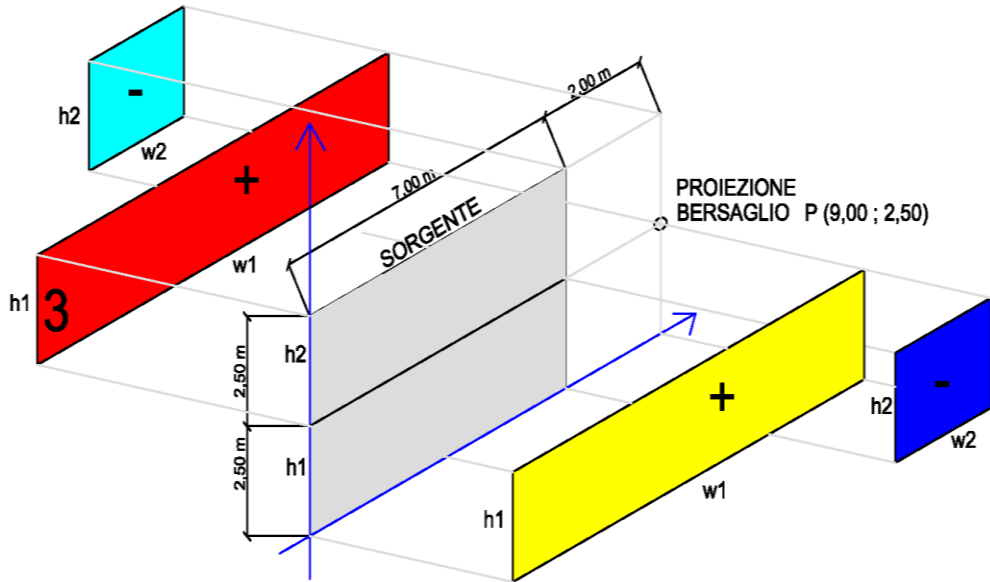
ESEMPIO **SCENARIO C** Proiezione del bersaglio esterno alla superficie della sorgente

D	C	D
C	B	C
D	C	D

SORGENTE
portone
7,00 m x 5,00 m



BERSAGLIO
punto
posto a 8,50 m



SCENARIO C

Distanza	Dimensioni (m)		Parametri		Fattore di vista
8,5					
Sub Sorgente	w	h	a	b	Φ
1	9,00	2,50	0,29	1,06	0,059
2	2,00	2,50	0,29	0,24	-0,020
3	9,00	2,50	0,29	1,06	0,059
4	2,00	2,50	0,29	0,24	-0,020
Φ					0,077

$F_{RTO} = 0,132$

$$\Phi = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{a}{\sqrt{(1+a^2)}} \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{(1+a^2)}} + \frac{b}{\sqrt{(1+b^2)}} \tan^{-1} \frac{a}{\sqrt{(1+b^2)}} \right]$$

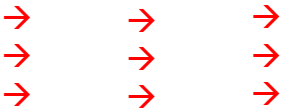
Dove

- $a = h/d$;
- $b = w/d$;
- d è la distanza tra il bersaglio e la sorgente
- h è l'altezza della zona sulla superficie radiante;
- w è la larghezza della zona sulla superficie radiante.

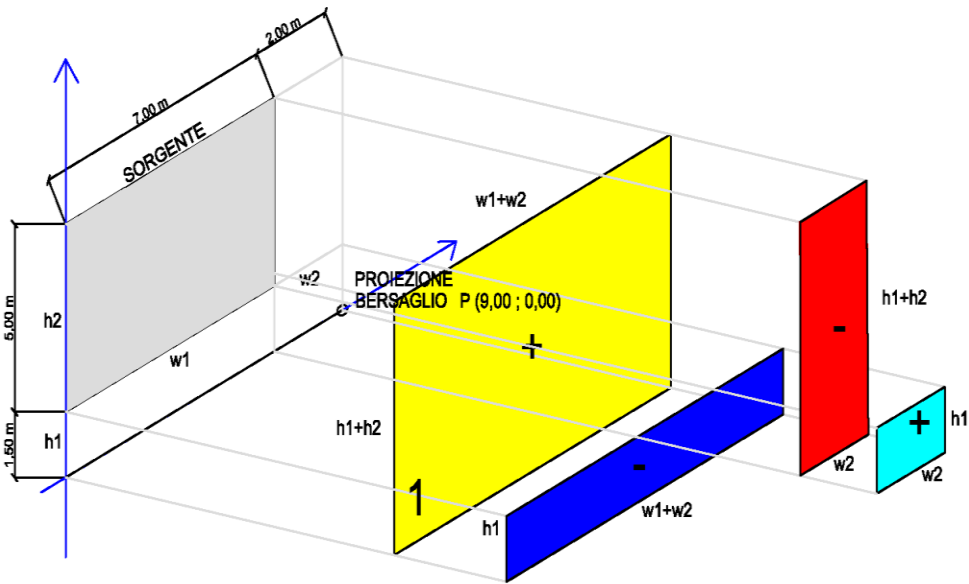
ESEMPIO **SCENARIO D** Proiezione del bersaglio esterno alla superficie della sorgente

D	C	D
C	B	C
D	C	D

SORGENTE
portone
7,00 m x 5,00 m



BERSAGLIO
punto
posto a 8,50 m



SCENARIO D

Distanza d=	Dimensioni (m)		Parametri		Fattore di vista
	w	h	a	b	Φ
Sub Sorgente					
1	9,00	6,50	0,76	1,06	0,124
2	9,00	1,50	0,18	1,06	-0,036
3	2,00	6,50	0,76	0,24	-0,041
4	2,00	1,50	0,18	0,24	0,012
Φ					0,059

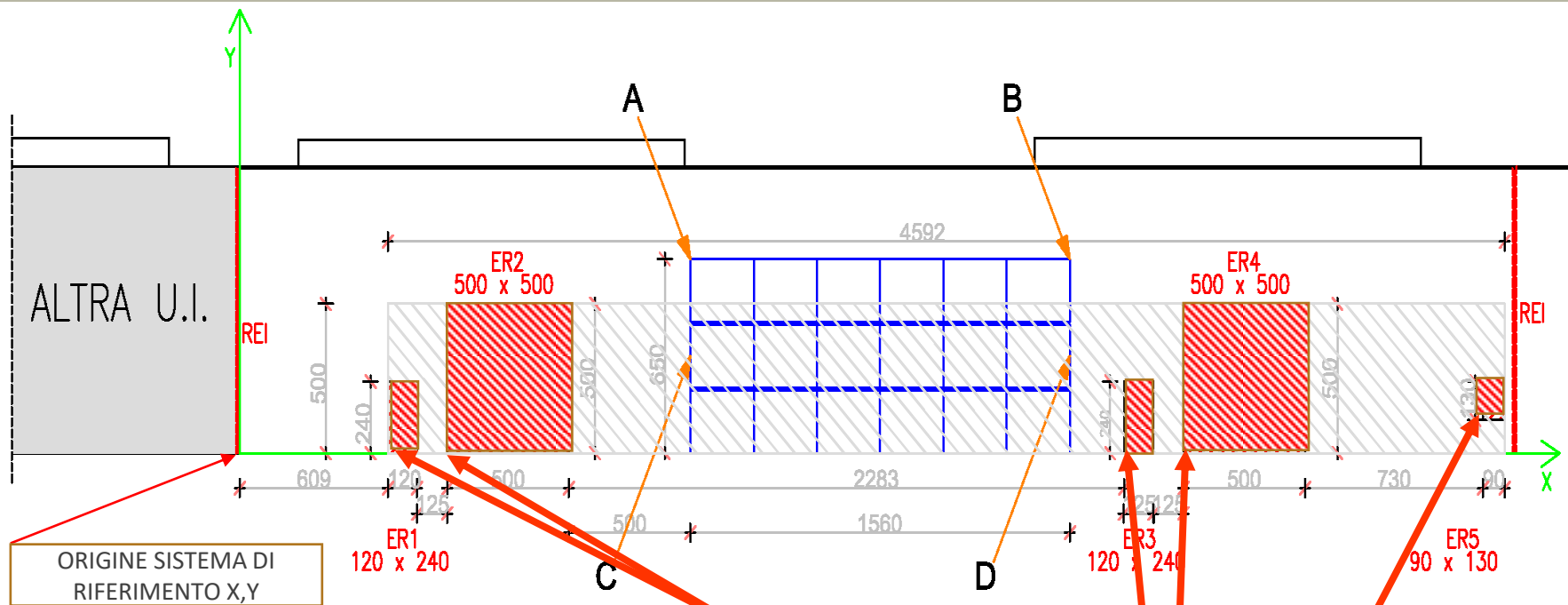
$F_{RTO} = 0,132$

$$\Phi = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{a}{\sqrt{1+a^2}} \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{1+a^2}} + \frac{b}{\sqrt{1+b^2}} \tan^{-1} \frac{a}{\sqrt{1+b^2}} \right]$$

Dove

- $a = h/d$;
- $b = w/d$;
- d è la distanza tra il bersaglio e la sorgente
- h è l'altezza della zona sulla superficie radiante;
- w è la larghezza della zona sulla superficie radiante.

VALUTAZIONE DEL CASO DI STUDIO



Si calcola un fattore di vista per ciascuno dei 5 elementi radianti (ER1 ÷ ER5), indicati dalle zone campite in rosso, ripetendo il calcolo precedente alle casistiche (B, C, D), con riferimento al bersaglio (deposito esterno B = 15,60 m e H = 6,50 m), posto alla distanza di 8,00 m.

Si individuano le coordinate di 4 punti, ritenuti caratteristici, della proiezione del bersaglio sulla sorgente, rispetto ad un sistema di assi cartesiani scelto (assi di colore verde nel prospetto precedente):

COORDINATE DEI PUNTI BERSAGLIO

	A	B	C	D
x	18,54	34,14	18,54	34,14
y	6,50	6,50	3,25	3,25

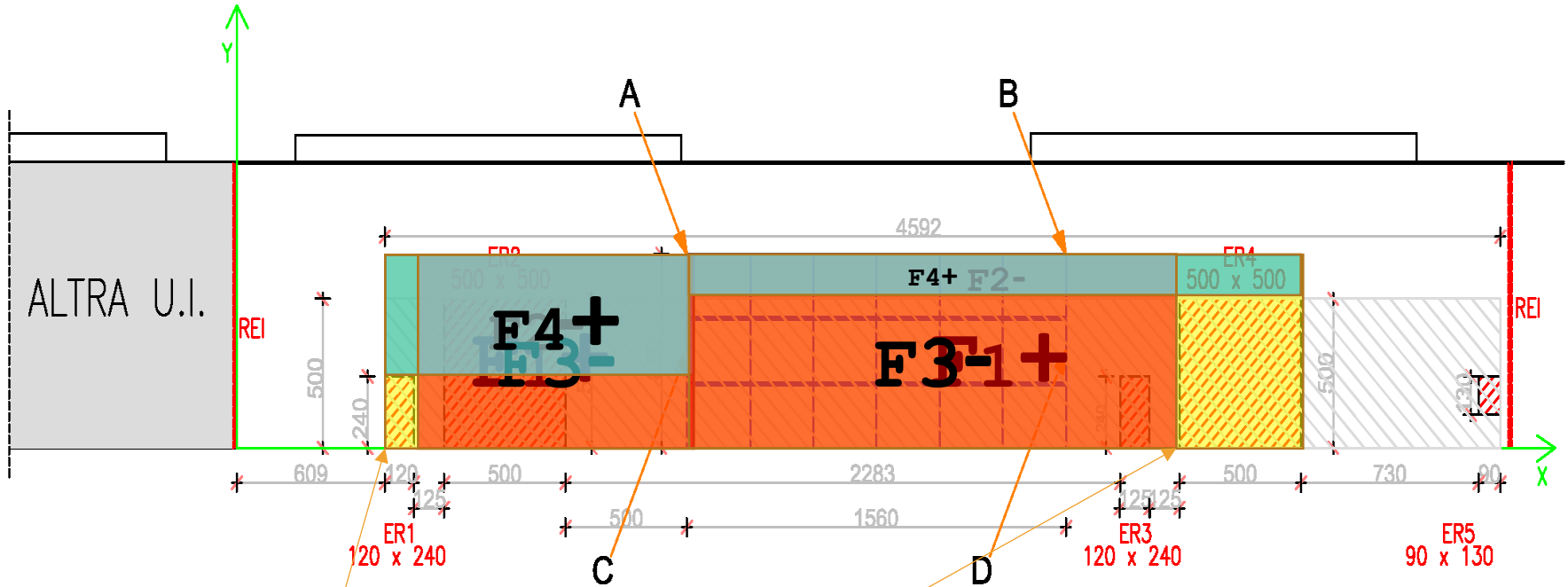
Dati bersaglio - punto A

x (m)	y (m)	dist. (m)
18,54	6,50	8,00

Dati sorgente

Codice	l (m)	h (m)	sup. (m ²)	x (m)	y (m)	Fattore di vista
ER1	1,20	2,40	2,88	6,09	0,00	0,001
ER2	5,00	5,00	25,00	8,54	0,00	0,028
ER3	1,20	2,40	2,88	36,37	0,00	0,000
ER4	5,00	5,00	25,00	38,82	0,00	0,001
ER5	0,90	1,30	1,17	51,12	0,90	0,000
Totale			56,93	Φ		0,031

VALUTAZIONE DEL CASO DI STUDIO



Dati sorgente						
Codice	l (m)	h (m)	sup. (m²)	x (m)	y (m)	Fattore di vista
ER1	1,20	2,40	2,88	6,09	0,00	0,001
ER2	5,00	5,00	25,00	8,54	0,00	0,028
ER3	1,20	2,40	2,88	36,37	0,00	0,000
ER4	5,00	5,00	25,00	38,82	0,00	0,001
ER5	0,90	1,30	1,17	51,12	0,90	0,000
Totale			56,93	Φ		0,031

VALUTAZIONE DEL CASO DI STUDIO

Dati bersaglio - punto A

x (m)	y (m)	dist. (m)
18,54	6,50	8,00

Dati sorgente						
Codice	l (m)	h (m)	sup. (m ²)	x (m)	y (m)	Fattore di vista
ER1	1,20	2,40	2,88	6,09	0,00	0,001
ER2	5,00	5,00	25,00	8,54	0,00	0,028
ER3	1,20	2,40	2,88	36,37	0,00	0,000
ER4	5,00	5,00	25,00	38,82	0,00	0,001
ER5	0,90	1,30	1,17	51,12	0,90	0,000
Totale			56,93	Φ		0,031

Dati bersaglio - punto C

x (m)	y (m)	dist. (m)
18,54	3,25	8,00

Dati sorgente						
Codice	l (m)	h (m)	sup. (m ²)	x (m)	y (m)	Fattore di vista
ER1	1,20	2,40	2,88	6,09	0,00	0,001
ER2	5,00	5,00	25,00	8,54	0,00	0,036
ER3	1,20	2,40	2,88	36,37	0,00	0,000
ER4	5,00	5,00	25,00	38,82	0,00	0,002
ER5	0,90	1,30	1,17	51,12	0,90	0,000
Totale			56,93	Φ		0,039

Dati bersaglio - punto B

x (m)	y (m)	dist. (m)
34,14	6,50	8,00

Dati sorgente						
Codice	l (m)	h (m)	sup. (m ²)	x (m)	y (m)	Fattore di vista
ER1	1,20	2,40	2,88	6,09	0,00	0,000
ER2	5,00	5,00	25,00	8,54	0,00	0,001
ER3	1,20	2,40	2,88	36,37	0,00	0,006
ER4	5,00	5,00	25,00	38,82	0,00	0,030
ER5	0,90	1,30	1,17	51,12	0,90	0,000
Totale			56,93	Φ		0,038

Dati bersaglio - punto D

x (m)	y (m)	dist. (m)
34,14	3,25	8,00

Dati sorgente						
Codice	l (m)	h (m)	sup. (m ²)	x (m)	y (m)	Fattore di vista
ER1	1,20	2,40	2,88	6,09	0,00	0,000
ER2	5,00	5,00	25,00	8,54	0,00	0,001
ER3	1,20	2,40	2,88	36,37	0,00	0,010
ER4	5,00	5,00	25,00	38,82	0,00	0,039
ER5	0,90	1,30	1,17	51,12	0,90	0,000
Totale			56,93	Φ		0,050

In definitiva, i fattori di vista e i valori della potenza radiante calcolati per i 4 punti sono i seguenti:

	A	B	C	D
Φ	0,031	0,038	0,039	0,050
E (kW/m ²)	2,94	3,57	3,67	4,73

Risultando la distanza dal bersaglio pari a 8,00 m, si può affermare che tale separazione è sufficiente, in quanto la potenza termica radiante riscontrata sulla superficie ricevente è ampiamente inferiore al valore $E_{soglia} = 12,6 \text{ kW/m}^2$.

CONCLUSIONI

La potenza termica radiante generata dall'incendio, che può generarsi nel deposito di pelli, agente sul bersaglio esterno, è stata valutata :

sia in soluzione conforme, secondo le procedure tabellare e analitica,

sia alternativa, utilizzando la procedura analitica calcolando però il fattore di configurazione F_{2-1} secondo la metodologia proposta dall'Eurocodice 1991-1-2.

I risultati ottenuti evidenziano le significative differenze tra un approccio di tipo prescrittivo, pertanto volutamente conservativo, in quanto valido per tutte le possibili casistiche, e quello prestazionale, basato nel caso in esame su una più precisa valutazione del solo fattore di vista F_{2-1} .