

Modello velocità di propagazione di Rothermel 1972

Modello (versione in unità SI)

$$ROS = \frac{IR \times \xi \times (1 + \phi_W + \phi_S)}{\rho_b \times \varepsilon \times Q_{ig}}$$

Dove:

ROS = velocità propagazione (m sec⁻¹)

I_R = Intensità di reazione (kJ m⁻²)

ξ = tasso del flusso di propagazione (frazione adimensionale)

ϕ_W = coefficiente vento (adimensionale)

ϕ_S = coefficiente pendenza (adimensionale)

ρ_b = densità del complesso di combustibile (kg m⁻³)

ε = numero effettivo di riscaldamento (adimensionale)

Q_{ig} = calore di preriscaldamento (KJ kg⁻¹)

Note:

- con l'indice i si intendono le categorie di combustibili da 1 a m presenti nel modello (dead; live herb; live woody)
- con l'indice j si intendono le classi dimensionali dei combustibili da 1 a n presenti nel modello (1h-10-100h per i morti; 1h per i vivi)
- con f_i e f_{ij} si intendono i fattore di ponderazione di ciascuna delle categorie e classi dimensionali dei combustibili del modello calcolati a partire dal loro superficie nell'unità di volume (σ):

$$f_{ij} = \frac{\bar{A}_{ij}}{\bar{A}_i}$$

$$f_i = \frac{\bar{A}_i}{\bar{A}_T}$$

Dove:

\bar{A}_{ij} è la superficie media della j^{th} classe dimensionale nella i^{th} categoria (es. 1h morto)

$$\bar{A}_{ij} = \frac{(\sigma)_{ij} (w_0)_{ij}}{(\rho_p)_{ij}}$$

\bar{A}_i è la superficie media della i^{th} categoria (es. morto)

$$\bar{A}_i = \sum_{j=1}^{j=n} \bar{A}_{ij}$$

\bar{A}_T è la superficie media totale nell'unità di volume del modello

$$\bar{A}_T = \sum_{j=1}^{j=m} \bar{A}_i$$

Parti del modello

A. Intensità di reazione (kJ m^{-2})

$$IR = (1/60) \times \Gamma' \times \sum_{i=1}^{i=m} f_i \times (w_n)_i \times (h_{inf})_i \times (n_M)_i \times (n_s)_i$$

Parti della Intensità di reazione

1) $\Gamma' = \Gamma'_{\max} \times [(\beta/\beta_{op}) \times \exp(1 - \beta/\beta_{op})]^A$	Velocità di reazione potenziale: valore unico per tutto il complesso di combustibile
---	--

Con:

$$\Gamma'_{\max} = (0,0591 + 2,926 \sigma^{-1,5})^{-1}$$

$$\beta_{op} = 0,20395 \sigma^{-0,8189}$$

$$A = (6,7229 \sigma^{0,1} - 7,27)$$

Dove:

$\sigma = \sum_{i=1}^{i=m} f_i \sigma_i$	Rapporto superficie/volume del complesso di combustibile
--	--

$\sigma_i = \sum_{i=1}^{i=n} f_{ij} \sigma_{ij}$	Rapporto superficie/volume della i^{th} categoria di combustibile
σ_{ij}	Rapporto superficie volume (m^{-1}) della j^{th} classe dimensionale nella i^{th} categoria di combustibile – Input Tab. 1

e con:

$\beta = \frac{1}{\delta} \times \sum_{i=1}^{i=m} \sum_{j=1}^{j=n} \frac{(w_0)_{ij}}{\rho_p}$	Rapporto di compattezza medio per il complesso di combustibile
---	--

Dove:

$(w_0)_{ij}$	carico combustibile ($kg\ m^{-2}$) della j^{th} classe dimensionale nella i^{th} categoria di combustibile – Input Tab. 1
δ	profondità combustibile (m), i.e. valore unico per tutto il complesso di combustibile – Input Tab. 1
ρ_p	densità particelle ($kg\ m^{-3}$), i.e. valore unico per tutte le classi dimensionali e le categorie di combustibile – Input Tab. 1

2) $(w_n)_i = \sum_{j=1}^{j=n} f_{ij} (w_n)_{ij}$	carico combustibile netto ($kg\ m^{-2}$) della i^{th} categoria di combustibile
--	---

Con:

$(w_n)_{ij} = \frac{(w_0)_{ij}}{(1+S_T)}$	carico combustibile netto ($kg\ m^{-2}$) della j^{th} classe dimensionale nella i^{th} categoria di combustibile
---	--

Dove:

$(w_0)_{ij}$	carico combustibile ($kg\ m^{-2}$) della j^{th} classe dimensionale nella i^{th} categoria di combustibile – Input Tab. 1
S_T	contenuto minerale tot. Comb – Input Tab. 1

3) $(h_{inf})_i = \sum_{j=1}^{j=n} f_{ij} (h_{inf})_{ij}$	Potere calorifico inferiore ($kJ\ kg^{-1}$) della i^{th} categoria di combustibile
--	--

Dove:

$(h_{inf})_{ij}$	potere calorifico inferiore ($kJ\ kg^{-1}$) della j^{th} classe dimensionale nella i^{th} categoria di combustibile – Input Tab. 1
$(M_f)_{ij}$	umidità (%) della j^{th} classe dimensionale nella i^{th} categoria di combustibile – Input Tab. 1

4) $(n_m)_i = 1 - 2,59 \frac{(M_f)_i}{(M_x)_i} + 5,11 \frac{(M_f)_i^2}{(M_x)_i} - 3,52 \frac{(M_f)_i^3}{(M_x)_i}$	Coefficiente di smorzamento dovuto all'umidità della i^{th} categoria di combustibile
--	---

Con:

$(M_f)_i = \sum_{j=1}^{j=n} f_{ij} (M_f)_{ij}$	umidità (%) della della i^{th} categoria di combustibile
<p>dead fuels: $(M_x)_i = M_x$</p> <p>live fuels: $(M_x)_i = 2.9 W' \left(1 - \frac{(M_f)_{dead}}{M_x} \right) - 0.226$</p> $W' = \frac{\sum_{j=1}^{j=n} \left((w_0)_{dead,j} \exp\left(\frac{-4.528}{\sigma_{dead,j}}\right) \right)}{\sum_{j=1}^{j=n} \left((w_0)_{live,j} \exp\left(\frac{-16.4058}{\sigma_{live,j}}\right) \right)}$ $(M_f)_{dead} = \frac{\sum_{j=1}^{j=n} \left((w_0)_{dead,j} (M_f)_{dead,j} \exp\left(\frac{-4.528}{\sigma_{dead,j}}\right) \right)}{\sum_{j=1}^{j=n} \left((w_0)_{dead,j} \exp\left(\frac{-4.528}{\sigma_{dead,j}}\right) \right)}$	umidità estinzione (%) della i^{th} categoria di combustibile

Dove:

$(M_f)_{ij}$	umidità (%) della j^{th} classe dimensionale nella i^{th} categoria di combustibile – Input Tab. 1
M_x	umidità estinzione 1h (%) – Input Tab. 1
$\sigma_{dead,j}$	Rapporto superficie volume (m^{-1}) della j^{th} classe dimensionale nei combustibili morti – Input Tab. 1
$\sigma_{live,j}$	Rapporto superficie volume (m^{-1}) della j^{th} classe dimensionale nei combustibili vivi – Input Tab. 1
$(w_0)_{dead,j}$	carico combustibile ($kg\ m^{-2}$) della j^{th} classe dimensionale nei combustibili morti – Input Tab. 1
$(w_0)_{live,j}$	carico combustibile ($kg\ m^{-2}$) della j^{th} classe dimensionale nei combustibili vivi – Input Tab. 1

5) $n_s = 0,174 \times s_e^{-0,19}$	Coefficiente di smorzamento dovuto al contenuto minerale della i^{th} categoria di combustibile
--	---

Dove:

s_e	contenuto minerale effettivo – Input Tab. 1
-------	--

B. Tasso del flusso di propagazione (frazione adimensionale)

$$\xi = (192 + 7,9095\sigma)^{-1} \exp[(0,792 + 3,7597\sigma^{0,5}) \times (\beta + 0.1)]$$

Parti del flusso di propagazione

1) $(192 + 7,9095 \sigma)^{-1} \exp[(0,792 + 3,7597 \sigma^{0,5})$	
---	--

Dove:

$\sigma = \sum_{i=1}^{i=m} f_i \sigma_i$	Rapporto superficie/volume del complesso di combustibile
$\sigma_i = \sum_{j=1}^{j=n} f_{ij} \sigma_{ij}$	Rapporto superficie/volume della i^{th} categoria di combustibile
σ_{ij}	Rapporto superficie volume (m^{-1}) della j^{th} classe dimensionale nella i^{th} categoria di combustibile – Input Tab. 1

2) $(\beta + 0.1)$	
---------------------------	--

Con:

$\beta = \frac{1}{\delta} \times \sum_{i=1}^{i=m} \sum_{j=1}^{j=n} \frac{(w_0)_{ij}}{\rho_p}$	Rapporto di compattezza medio per il complesso di combustibile
---	--

Dove:

$(w_0)_{ij}$	carico combustibile ($kg\ m^{-2}$) della j^{th} classe dimensionale nella i^{th} categoria di combustibile – Input Tab. 1
δ	profondità combustibile (m), i.e. valore unico per tutto il complesso di combustibile – Input Tab. 1
ρ_p	densità particelle ($kg\ m^{-3}$), i.e. valore unico per tutte le classi dimensionali e le categorie di combustibile – Input Tab. 1

C. coefficiente vento (adimensionale)

$$\phi_W = C(3,281 U)^B (\beta/\beta_{op})^{-E}$$

Parti del coefficiente vento

Con:

$C = 7,47 \exp(-0,8711\sigma)^{0,55}$	
---------------------------------------	--

$B = (0,15988 \sigma)^{0,54}$	
$E = 0,715 \exp(-0,01094 \sigma)$	
$\beta_{op} = 0,20395 \sigma^{-0,8189}$	

Dove:

$\sigma = \sum_{i=1}^{i=m} f_i \sigma_i$	Rapporto superficie/volume del complesso di combustibile
$\sigma_i = \sum_{j=1}^{j=n} f_{ij} \sigma_{ij}$	Rapporto superficie/volume della i^{th} categoria di combustibile
U	Velocità vento ad altezza fiamma – Input Tab. 1
σ_{ij}	Rapporto superficie volume (m^{-1}) della j^{th} classe dimensionale nella i^{th} categoria di combustibile – Input Tab. 1

Con:

$\beta = \frac{1}{\delta} \times \sum_{i=1}^{i=m} \sum_{j=1}^{j=n} \frac{(w_0)_{ij}}{\rho_p}$	Rapporto di compattezza medio per il complesso di combustibile
---	--

Dove:

$(w_0)_{ij}$	carico combustibile ($kg\ m^{-2}$) della j^{th} classe dimensionale nella i^{th} categoria di combustibile – Input Tab. 1
δ	profondità combustibile (m), i.e. valore unico per tutto il complesso di combustibile – Input Tab. 1
ρ_p	densità particelle ($kg\ m^{-3}$), i.e. valore unico per tutte le classi dimensionali e le categorie di combustibile – Input Tab. 1

D. coefficiente pendenza (adimensionale)

$$\phi_s = 5,275 \beta^{-0,3} \times (\tan \phi)^2$$

Con:

$\beta = \frac{1}{\delta} \times \sum_{i=1}^{i=m} \sum_{j=1}^{j=n} \frac{(w_0)_{ij}}{\rho_p}$	Rapporto di compattezza medio per il complesso di combustibile
---	--

Dove:

$(w_0)_{ij}$	carico combustibile (kg m^{-2}) della j^{th} classe dimensionale nella i^{th} categoria di combustibile – Input Tab. 1
δ	profondità combustibile (m) – Input Tab. 1
ρ_p	densità particelle (kg m^{-3}), i.e. valore unico per tutte le classi dimensionali e le categorie di combustibile – Input Tab. 1
$\tan \phi$	Pendenza (verticale/orizzontale) – Input Tab. 1

E. densità del complesso di combustibile (kg m^{-3})

$$\rho_b = \frac{1}{\delta} \times \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (w_0)_{ij}$$

Dove:

δ	profondità combustibile (m), i.e. valore unico per tutto il complesso di combustibile – Input Tab. 1
$(w_0)_{ij}$	carico combustibile (kg m^{-2}) della j^{th} classe dimensionale nella i^{th} categoria di combustibile – Input Tab. 1

F. numero effettivo di riscaldamento (adimensionale)

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^m f_i \sum_{j=1}^n \left[\exp \left(\frac{-4.528}{\sigma_{ij}} \right) \right]$$

Dove:

σ_{ij}	Rapporto superficie volume (m^{-1}) della j^{th} classe dimensionale nella i^{th} categoria di combustibile – Input Tab. 1
---------------	--

G. calore di preignizione (kJ kg^{-1})

$$(Q_{ig})_{ij} = 581 + 2594 (M_f)_{ij}$$

Dove:

$(M_f)_{ij}$	umidità (%) della j^{th} classe dim. nella i^{th} categoria di comb. – Input Tab. 1
--------------	--

NB se si intende utilizzare un fuel model dinamico, parte del $(w_0)_{\text{live herb}}$ passa ad una nuova sottocategoria j di combustibile morto, che assume σ_{ij} del live herbaceous e $(M_f)_{ij} = (M_f)_{\text{dead,1h}}$. Il carico che viene trasferito è:

$$(w_0)_{\text{trasf}} = (w_0)_{\text{live,herb}} * k$$

$$\text{con } k = (120 - (M_f)_{\text{live,herb}}) / 90 \text{ (min= 0, max= 1)}$$

Tab. 1 - Parametri input dei modelli di combustibile di Rothermel

	Lettera in eq.	Variabile	Unità
Modello di combustibile	$(W_0)_{ij}$	Carico combustibile della j^{th} classe dimensionale (1h, 10h, 100h) nella i^{th} categoria di combustibile (live herb, live woody)	kg m ⁻¹
	δ	Profondità combustibile**	m
	M_x	Umidità di estinzione (1h)	%
	σ_{ij}	Rapporto superficie/volume della j^{th} classe dimensionale (1h, 10h, 100h) nella i^{th} categoria di combustibile (live herb, live woody)	cm ⁻¹
	$(h_{inf})_{ij}$	Potere calorifico inferiore della j^{th} classe dimensionale (1h, 10h, 100h) nella i^{th} categoria di combustibile (live herb, live woody)	kJ kg ⁻¹
	ρ_p	Peso specifico particelle combustibile***	kg m ⁻³
	$(M_f)_{ij}$	Umidità del combustibile della j^{th} classe dimensionale (1h, 10h, 100h) nella i^{th} categoria di combustibile (live herb, live woody)	%
	S_T	Contenuto minerale tot. comb. ***	-
	S_e	Contenuto minerale effettivo***	-
Input ambiente	U	Velocità vento ad altezza fiamma	m min ⁻¹
	$\tan \phi$	Pendenza (verticale/orizzontale)	-
	M_{fi}	Umidità del combustibile della j^{th} classe dimensionale (1h, 10h, 100h) nella i^{th} categoria di combustibile (live herb, live woody)	%

* σ_{ij} presenta valori costanti per le classi 10h morti (358 m⁻¹) e 100h morti (98 m⁻¹) in tutti i fuel models

** la profondità di combustibile ha un valore unico per tutto il fuel model

*** il peso specifico delle particelle e il contenuto minerale è uguale per tutte le classi dimensionali, categorie di combustibili e fuel models, i.e., $\rho_p = 513 \text{ kg m}^{-3}$; $S_T = 0,0555$; ; $S_e = 0,010$ (Rothermel 1972; Scott e Burgan 2005)