



# Simulare il comportamento fuoco

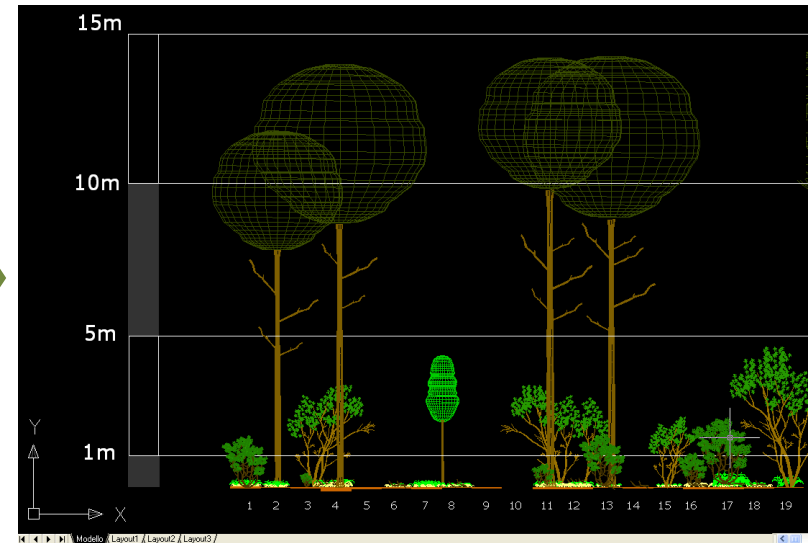
## Ascoli D.

Dipartimento di  
Scienze Agrarie  
Forestali e  
Alimentari

Università di  
Torino

## Modelli di comportamento del fuoco

Come descrivere la **vegetazione** con dei **parametri** che servono da **input** nei modelli?



**Specie:** *Pinus pinaster* Aiton  
*Erica arborea* L.

**Categoria:** Rimboschimento di  
conifere mediterranee

**Carico:** Combustibili di lettiera (t/ha)  
Combustibili morti / vivi (%)

**Struttura:** Combustibili densi (kg/m<sup>3</sup>)  
Combustibili porosi (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>)

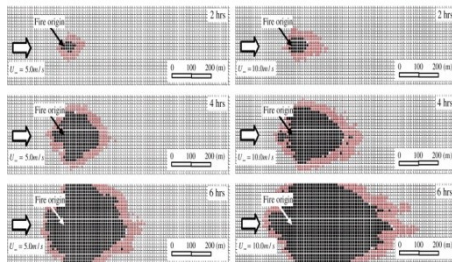
# Simulare il comportamento del fuoco

## Modelli di comportamento del fuoco

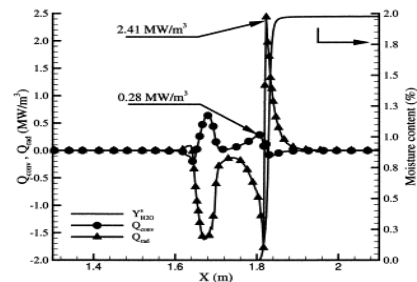
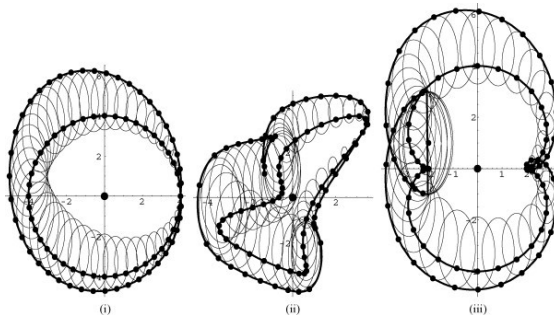
Quale modello di comportamento?, modello di combustibile?

$$y = a \cdot x + b$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho_g \theta) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho_g \theta w_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \sigma \frac{\partial \theta}{\partial x_j} \right) + \frac{\theta}{c_p T_g} [h a_v (T_s - T_g) + Q_{rad,g} + (1 - \Theta) F_f H_f],$$



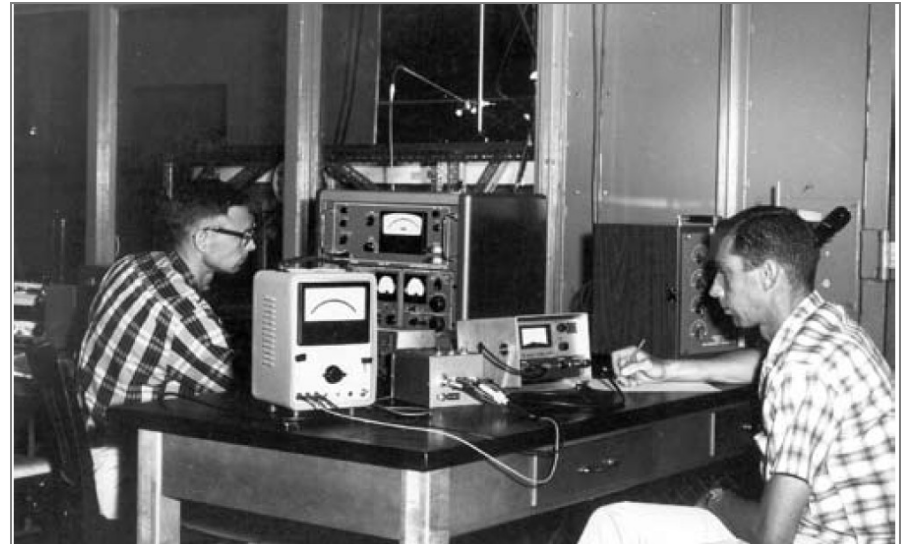
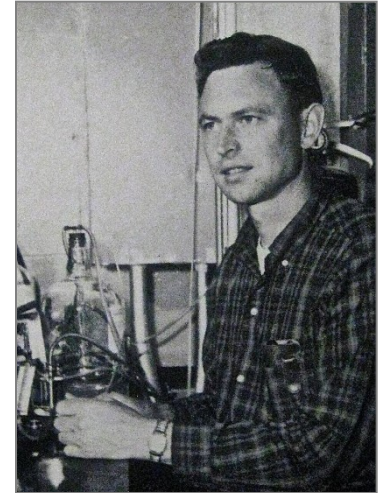
Rothermel



## Modelli di comportamento del fuoco

### Il modello di Rothermel R.C. (1972)

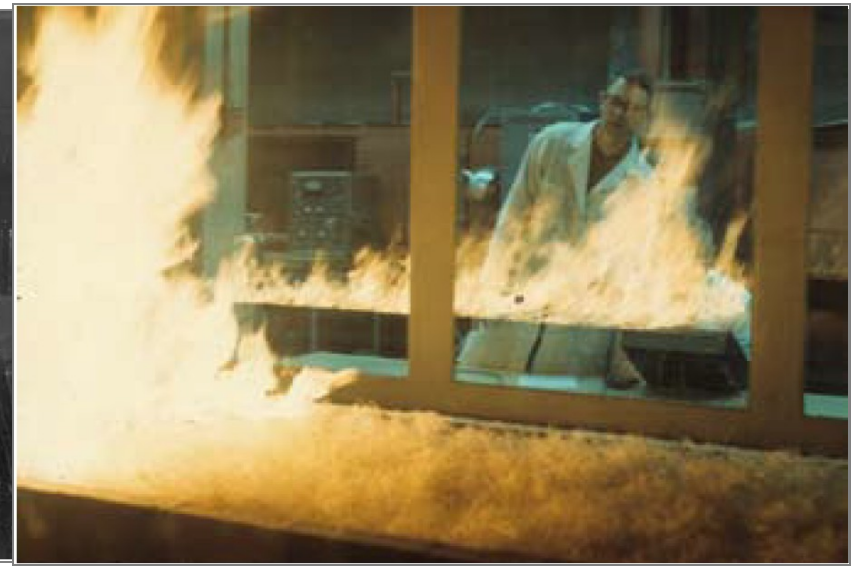
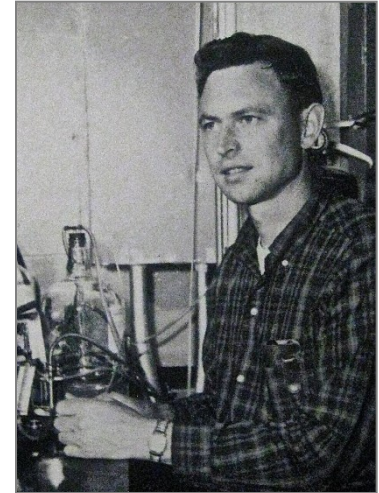
- Esperimenti in **laboratorio** in **condizioni ambientali controllate**
- Combustibili con caratteri di infiammabilità controllati, es. **rapporto superficie/volume**



## Modelli di comportamento del fuoco

### Il modello di **Rothermel R.C. (1972)**

- Complesso di combustibile con un **unico strato, continuo e omogeneo**
- Modello che stimi la **velocità del fuoco** di un fronte di **fiamma di superficie**



# *Simulare il comportamento del fuoco*

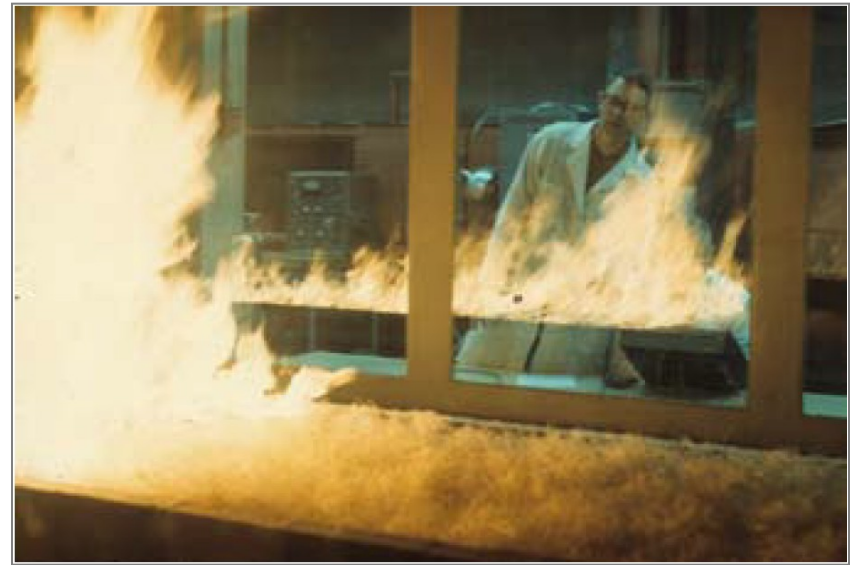
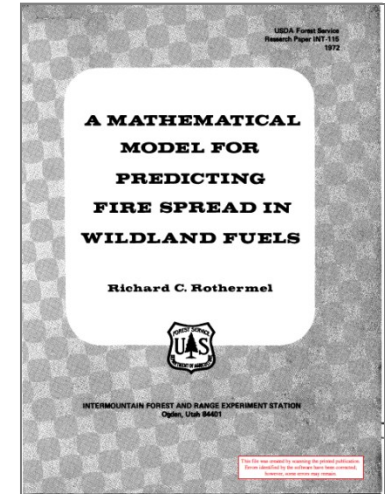
## **Modelli di comportamento del fuoco**

Il modello di **Rothermel R.C. (1972)**

**1972**

*A mathematical model  
for predicting fire spread in wildland fuels*

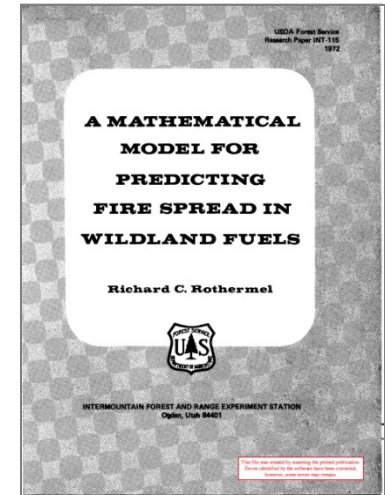
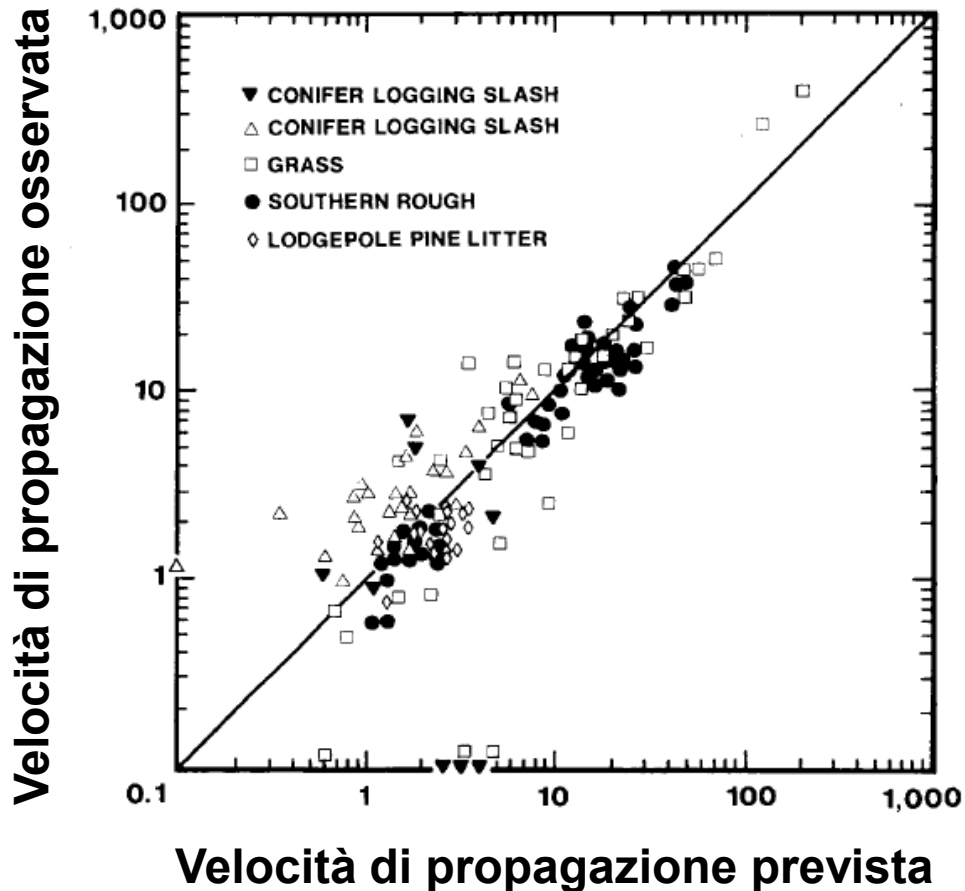
*USDA. Res. Pap. INT-115*



# Simulare il comportamento del fuoco

## Modelli di comportamento del fuoco

Perché il modello di **Rothermel** ???



Previsione entro limiti di errore accettabili per le finalità AIB

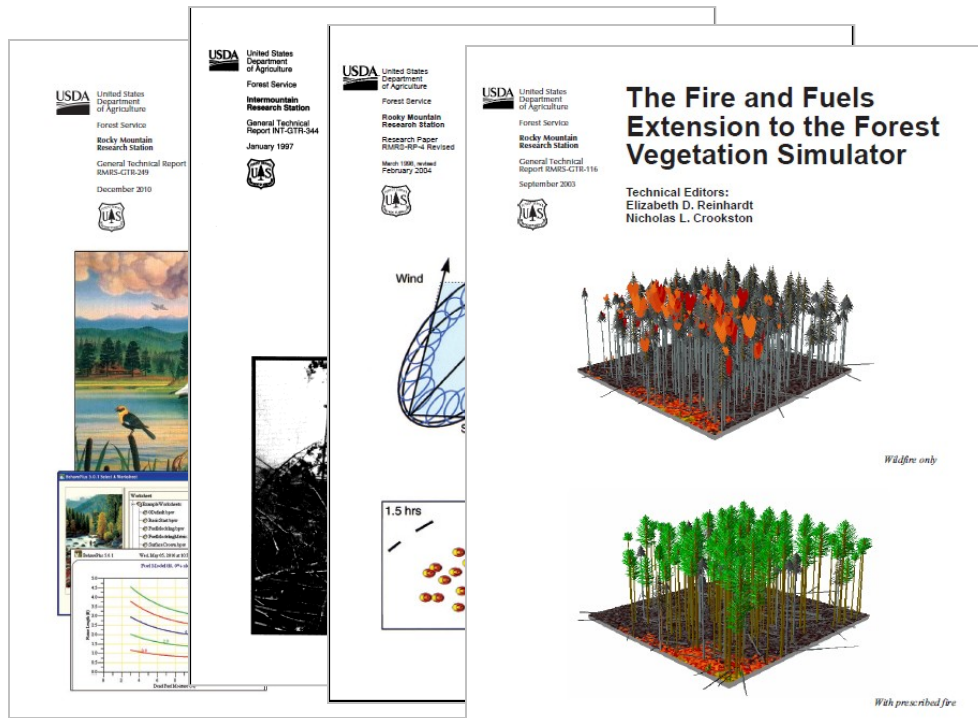
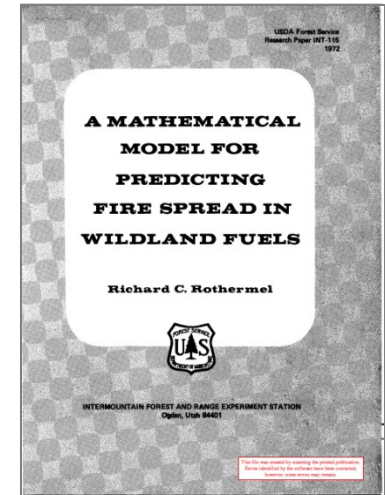
# Simulare il comportamento del fuoco

## Modelli di comportamento del fuoco

Perché il modello di Rothermel ???

**1972**

*A mathematical model  
for predicting fire spread in wildland fuels*  
USDA. Res. Pap. INT-115



Utilizzato come modello  
base di molti **strumenti**  
usati anche in **Italia**  
(es. **analisi rischio**)

# Simulare il comportamento del fuoco

## Quali strumenti basati su Rothermel?

*Simulatori USDA che utilizzeremo*



Forest Service

**Rocky Mountain  
Research Station**

General Technical Report  
RMRS-GTR-106WWW Revised

July, 2008



## **BehavePlus** fire modeling system Version 5.0 **User's Guide**

Patricia L. Andrews  
Collin D. Bevins  
Robert C. Seli



Forest Service

**Rocky Mountain  
Research Station**

RMRS-P-41. 2006.



## **Flammap** fire modeling system Version 5.0 **User's Guide**

Mark Finney



# Simulare il comportamento del fuoco

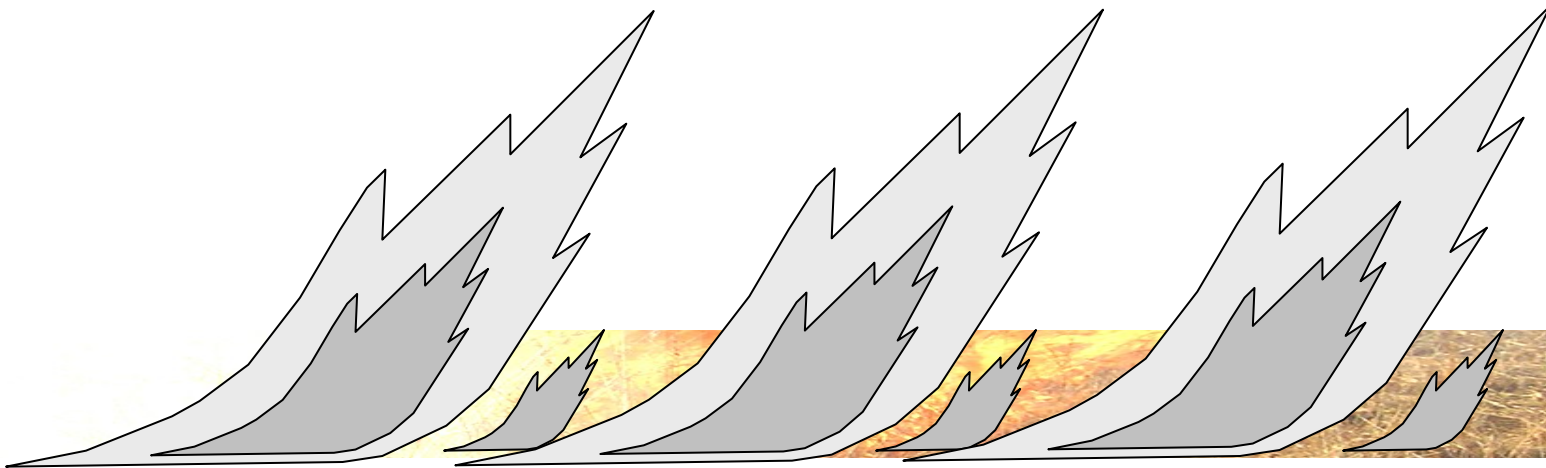
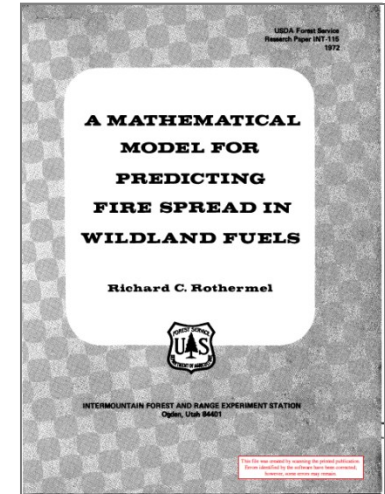
## Modelli di comportamento del fuoco

Il modello di **Rothermel R.C.**

**1972**

*A mathematical model  
for predicting fire spread in wildland fuels*

*USDA. Res. Pap. INT-115*



## **Modelli di comportamento: il modello di Rothermel**

Equazione base

$$\mathbf{ROS} = \frac{\mathbf{Numeratore}}{\mathbf{Denominatore}}$$

**ROS** = velocità di propagazione

**Numeratore**

quantità di energia generata dal combustibile

**Denominatore**

energia necessaria per infiammare il combustibile

## **Modelli di comportamento: il modello di Rothermel**

Equazione base

$$\mathbf{ROS} = \frac{I_R \xi (1 + \Phi_w + \Phi_s)}{\rho_b \epsilon Q_{ig}}$$

**ROS = tasso di diffusione**

## Modelli di comportamento: il modello di Rothermel

Il modello di Rothermel R.C.

$$\text{ROS} = \frac{I_R \xi (1 + \phi_w + \phi_s)}{\rho_b \epsilon Q_{ig}}$$

*Intensità di reazione (kJ m<sup>-2</sup>)*

*Coefficiente pendenza*

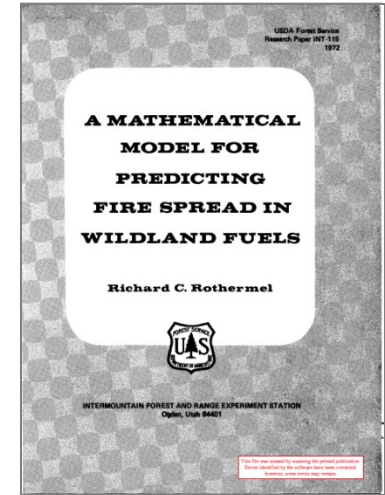
*Coefficiente vento*

*Calore preriscaldamento*

*Numero effettivo riscaldamento*

*Densità complesso combustibile*

*Tasso del flusso di propagazione*



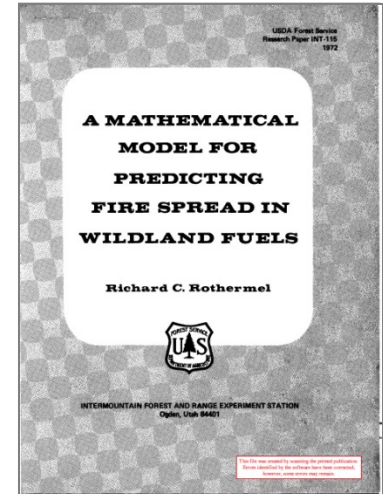
## Modelli di comportamento: il modello di Rothermel

Il modello di **Rothermel R.C.**

### ***Fire Behavior Fuel Models***

In italiano...

***“Modelli di combustibile”***



### ***Definizione di modello di combustibile***

...insieme di **parametri fisici** relativi alla **infiammabilità** di un complesso di combustibile che servono come **input** del modello di velocità del fronte di fiamma di Rothermel

# Simulare il comportamento del fuoco

## Combustibili e infiammabilità

Come organizzare i **parametri** in un **modello di combustibile**?



**Carico:** Combustibili di lettiera (t/ha)  
Combustibili morti / vivi (%)

**Struttura:** Combustibili densi (kg/m<sup>3</sup>)  
Combustibili porosi (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>)

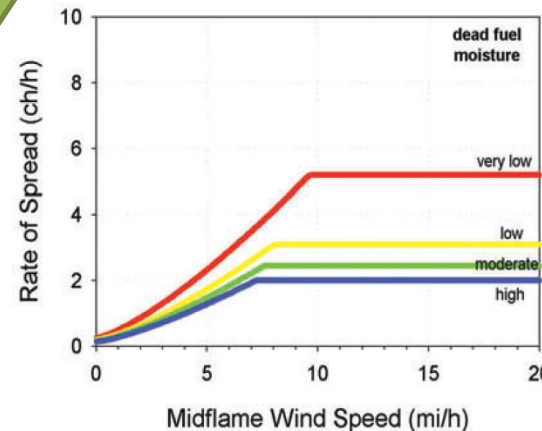


### TL3 (183)

*Carico moderato  
Lettiera di conifere*

#### Descrizione

*Il vettore del fuoco è la lettiera di conifere a carico moderato.  
Velocità del fuoco bassa,  
lunghezza fiamma bassa.*



**Combustibili 1h**  
1,12 t/ha

**Rapporto S/V**  
6562 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>

**Rapporto V/V**  
0,0263

**Umidità estinzione**  
20 %

Fonte: Scott JH, Burgan RE, 2005

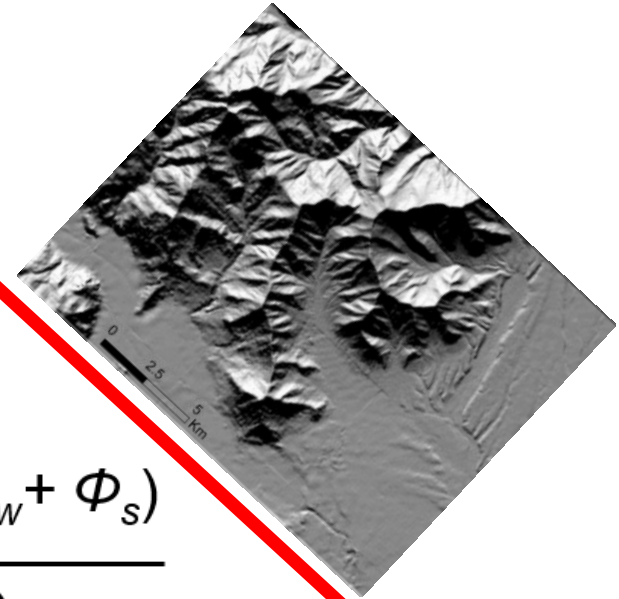
Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's fire spread model.  
Gen.Tech.Rep. RMRS-GTR-153.

## I “Fire Behavior Fuel Models”: Modelli di combustibile

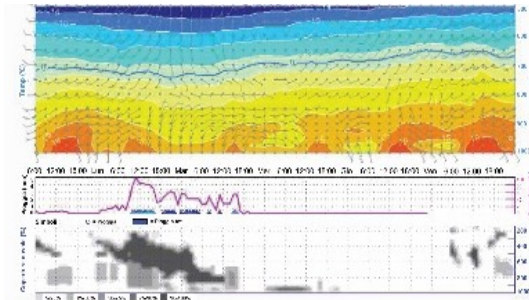
	<b>Parametri</b>	<b>Unità</b>	<b>Classi <math>\emptyset</math></b>
<b>Tipo Comb.</b>	<b>GR, GS, SH, TU, TL, SB</b>	<b>Secco - Umido</b>	Complesso
<b>Morti</b>	Carico	(t / ha)	1h, 10h, 100h
	Rapporto S/V	(m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	1h
	Potere calorifico	(KJ/kg)	1h
	Umidità estinzione	(%)	1h
<b>Vivi erbe</b>	Carico	(t / ha)	1h
	Rapporto S/V	(m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	1h
	Potere calorifico	(KJ/kg)	1h
<b>Vivi arbusti</b>	Carico	(t / ha)	1h
	Rapporto S/V	(m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	1h
	Potere calorifico	(KJ/kg)	1h
	Profondità	(m)	Complesso
	Tipo di modello	<b>Statico</b> <b>Dinamico</b>	Complesso

## Modelli di comportamento del fuoco

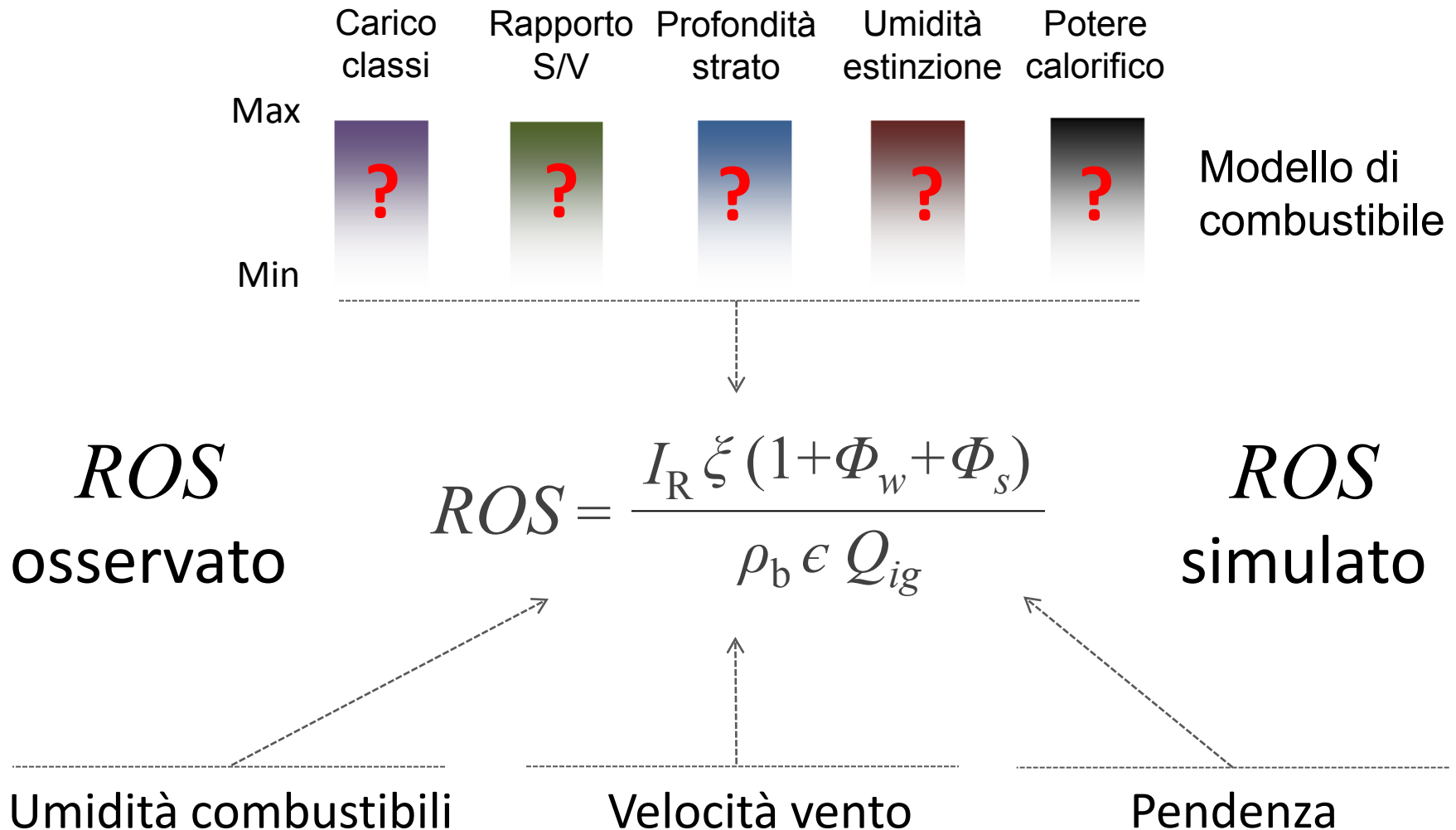
Il modello di **Rothermel R.C.**



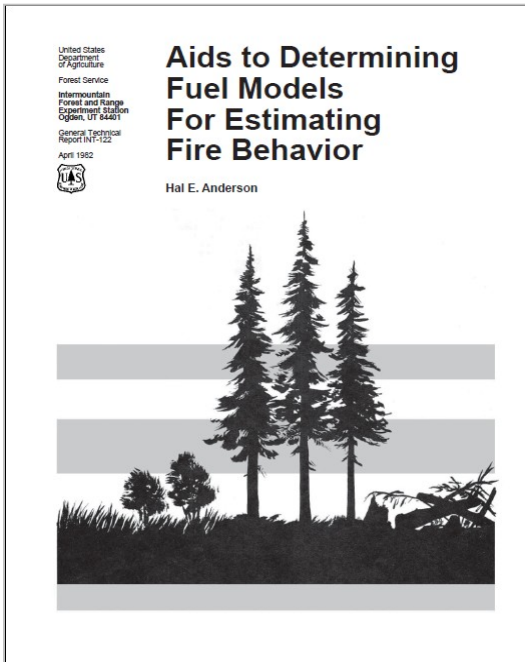
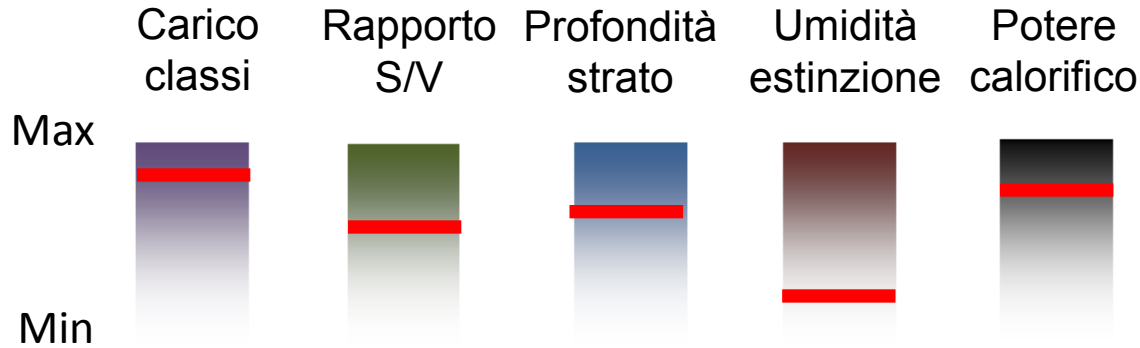
$$\text{ROS} = \frac{I_R \xi (1 + \Phi_W + \Phi_S)}{\rho_b \epsilon Q_{ig}}$$



## Modelli di comportamento: il modello di Rothermel



## I “Fire Behavior Fuel Models”: Modelli di combustibile



**Anderson HE, 1982**

*Aids to Determining Fuel models*

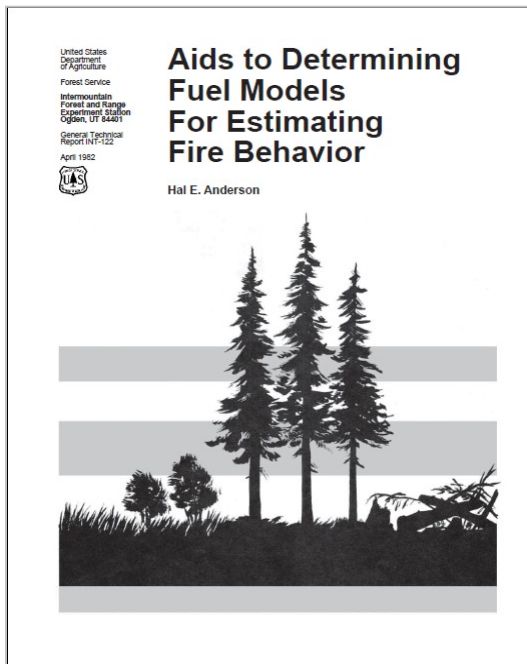
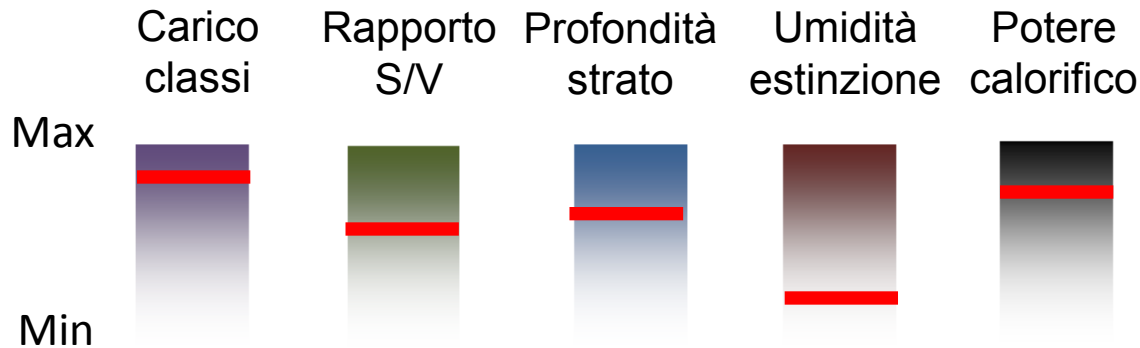
*For Estimating Fire Behavior.*

Gen.Tech.Rep. INT-122

## I “Fire Behavior Fuel Models”: 13 modelli di Rothermel

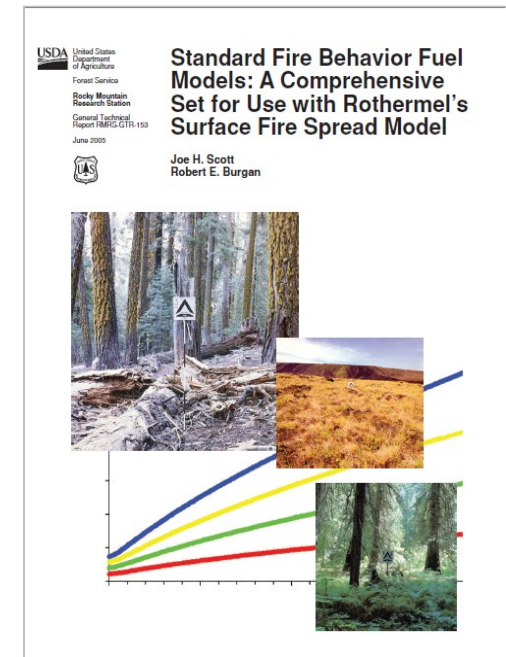
Gruppo	Modello	Descrizione
<b>Praterie</b>		
	1-3	Pascoli e prati naturali o artificiali, costituiti da erbe fini, con tessuti senescenti o morti, di altezza inferiore ai 30-40 cm, che ricoprono completamente il suolo. Possono essere presenti sporadicamente arbusti molto bassi o piante arboree comunque occupanti meno di un terzo della superficie.
<b>Cespugliati</b>		
	4-7	Macchia o piantagione giovane molto densa, di altezza pari o superiore ai due metri. I rami morti presenti all'interno contribuiscono in maniera significativa ad aumentare l'intensità delle fiamme. la propagazione del fuoco avviene a carico delle chiome.
<b>Lettiere di boschi</b>		
	8-10	Bosco denso, privo di sottobosco arbustivo. Propagazione del fuoco sostenuta dalla lettiera compatta, costituita da aghi o foglie di ridotte dimensioni. I boschi densi di pino silvestre o di faggio sono esempi rappresentativi.
<b>Residui di utilizzazioni forestali</b>		
	11-13	Bosco rado o fortemente diradato. Residui dispersi di spalcatore o diradamenti, frammisti ai ricacci delle piante erbacee.

## I “Fire Behavior Fuel Models”: Modelli di combustibile



**Anderson HE, 1982**  
*Aids to Determining Fuel models  
For Estimating Fire Behavior.*  
Gen.Tech.Rep. INT-122

**Scott JH, Burgan RE, 2005**  
*Standard fire behavior fuel models: a  
comprehensive set for use with  
Rothermel's fire spread model.*  
Gen.Tech.Rep. RMRS-GTR-153.



## I “Fire Behavior Fuel Models”: Modelli di combustibile

### Traduzione termini e conversione unità

Fuel model code	Fuel load (t/ac)					Fuel model type <sup>a</sup>	SAV ratio (1/ft) <sup>b</sup>			Fuel bed depth (ft)	Dead fuel extinction moisture (percent)	Heat content BTU/lb <sup>c</sup>
	1-hr	10-hr	100-hr	Live herb	Live woody		Dead 1-hr	Live herb	Live woody			
GR1	0.10	0.00	0.00	0.30	0.00	dynamic	2200	2000	-	0.4	15	8000
...												
SB4	5.25	3.50	5.25	0.00	0.00	N/A	2000	-	-	2.7	25	8000

Cod. Mod.	Carico combustibile (t/ha)					Tipo di modello	Rapporto S/V (1/m)			Profondità combustibile (cm)	Umidità estinzione (%)	Potere calorifico (kJ/kg)
	1-hr	10-hr	100-hr	Erbe vive	Legnosi vivi		Morto 1h	Vivo erbe	Vivo legnosi			
GR1	0,41	0,00	0,00	0,12	0,00	dinamico	7216	6560	-	12,2	15	18607
...												
SB4	12,97	8,65	12,97	0,00	0,00	N/A	6560	-	-	82,3	25	18607

**Carico: 1 t/acro = 2,47 t/lettaro    Rapporto S/V: 1 ft<sup>2</sup>/ft<sup>3</sup> = 3,28 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>**

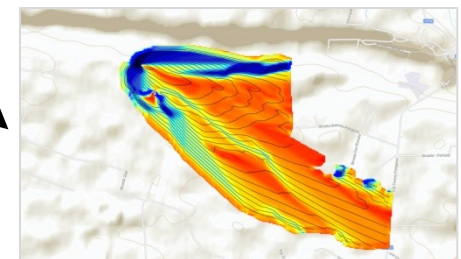
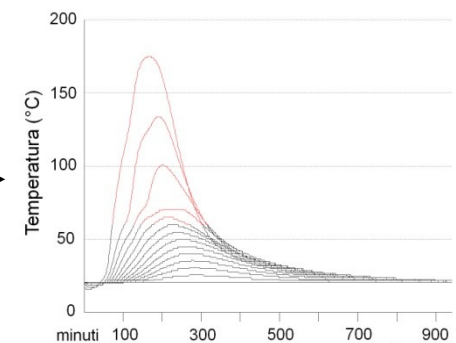
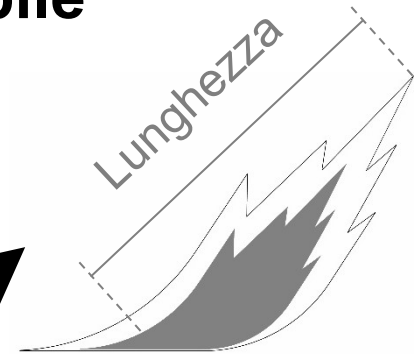
**Potere calorifico: 1 Btu/lb = 2,326 kJ/kg    Profondità: 1 ft = 30,48 cm**

## Scegliere, testare e creare i modelli di combustibile

Dalla vegetazione al modello di combustibile



**Rothermel**



## **Scegliere i modelli di combustibile standard**

### **Criteri di scelta del modello di combustibile**

1. Individuare la **componente di combustibile** che **conduce** il fronte di fiamma

**Erba (GR)**



**Erba+arbusti (GS)**



**Arbusti (SH)**



## **Scegliere i modelli di combustibile standard**

### **Criteri di scelta del modello di combustibile**

1. Individuare la **componente di combustibile** che **conduce** il fronte di fiamma

**Lettiera+erba (TU)**



**Lettiera (TL)**



**Residui (SB)**



**Attenzione**

## **Scegliere i modelli di combustibile standard**



## **Scegliere i modelli di combustibile standard**



## **Scegliere i modelli di combustibile standard**



**Gruppo SH**

## Scegliere i modelli di combustibile standard

### Criteri di scelta del **modello di combustibile**

2. Determinare se la vegetazione che si vuole modellizzare è di ambiente secco (dry) o umido (wet): **umidità estinzione**

#### Erba - secco (GR1)



Umidità estinzione

**15%**

Umidità estinzione

**30%**

#### Erba - umido (GR3)



## **Scegliere i modelli di combustibile standard**

### **Criteri di scelta del modello di combustibile**

3. Determinare la quantità e copertura del combustibile per arrivare a scegliere **low, moderate, high**

#### **Basso (TL2)**



**Low load  
Broadleaf litter**

#### **Moderato (TL6)**



**Moderate load  
Broadleaf litter**

## **Scegliere i modelli di combustibile**

### **Criteri di scelta del modello di combustibile**

4. Non fermarsi alla scelta in base a criteri legati al tipo di vegetazione o di combustibile ...

L'obiettivo nella scelta del **modello di combustibile** è ottenere una simulazione del comportamento **affidabile**, e **non** quello di far corrispondere i parametri del modello al **combustibile reale** osservato in campo (dati inventario)