



Legna da ardere, cippato e pellet



Caratteristiche energetiche
normativa, mercato e prezzi
Convenienza economica

PROFESSIONE
LEGNOENERGIA

Eliseo Antonini & Valter Francescato

AIEL

Argomenti

- Combustibili legnosi: caratteristiche energetiche
- Normativa: requisiti qualitativi
- Mercato e prezzi
- Valutazioni dell'investimento

DECRETO DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI 8 marzo 2002

Disciplina delle caratteristiche merceologiche dei combustibili aventi rilevanza ai fini dell'inquinamento atmosferico, nonché delle caratteristiche tecnologiche degli impianti di combustione

Allegato III**Individuazione delle biomasse combustibili e delle loro condizioni di utilizzo**
(articolo 3 comma 1 lettera n) e articolo 6 comma 1 lettera h))**1. Tipologia e provenienza**

- a) Materiale vegetale prodotto da coltivazioni dedicate;
- b) Materiale vegetale prodotto da trattamento esclusivamente meccanico di coltivazioni agricole non dedicate;
- c) Materiale vegetale prodotto da interventi selvicolturali, da manutenzione forestale e da potatura;
- d) Materiale vegetale prodotto dalla lavorazione esclusivamente meccanica di legno vergine e costituito da cortecce, segatura, trucioli, chips, refili e tondelli di legno vergine, granulati e cascami di legno vergine, granulati e cascami di sughero vergine tondelli non contaminati da inquinanti, aventi le caratteristiche previste per la commercializzazione e l'impiego;
- e) Materiale vegetale prodotto dalla lavorazione **esclusivamente meccanica** di prodotti agricoli, avente le caratteristiche previste per la commercializzazione e l'impiego.

1. UNITÀ DI MISURA DEI COMBUSTIBILI LEGNOSI**1.1 Volume**

Il metro cubo (m³) fa riferimento al volume interamente occupato dal legno. Questa unità di misura è comunemente adottata per il legname da lavoro.

Il metro stero (ms) invece, che considera i "vuoti per pieni", è tipicamente utilizzato per i combustibili legnosi.

Il **metro stero accatastato** (msa) è l'unità di misura che si impiega per la legna da ardere ordinatamente accatastata.

Il **metro stero riversato** (msr) è l'unità di misura che si impiega per la legna e più tipicamente per il cippato.

Per i combustibili legnosi, sia nella forma tal quale che densificata, il volume occupato varia in funzione della forma, della dimensione e della disposizione dei singoli pezzi, fattori questi che modificano il rapporto tra volume "pieno" e volume "vuoto", ovvero il volume sterico.

1.2 Peso

Le unità di misura ponderali per i combustibili legnosi sono il chilogrammo e la tonnellata.

Unità di misura			
tonnellata	chilogrammo	metro stero accatastato	metro stero riversato
t	kg	msa	msr
Legna da ardere Cippato Pellet e Briquettes		Legna da ardere	Legna da ardere Cippato

1.6 Massa sterica dei principali biocombustibili solidi [2]

Tabella 1.6

Combustibili legnosi	M %	specie	Massa sterica (kg/ms)
legna da ardere (33 cm in catasta)	15	faggio	445
		abeti	304
Cippato	30	faggio	328
		abeti	223
Corteccia di conifere	15		180
Segatura			160
Truciol di pialla			90
Pellet	8		620-650
Combustibili di origine agricola			
Balle parallelepipedo	15	miscanto	140
Triturato		miscanto	110
Granello		triticale	750

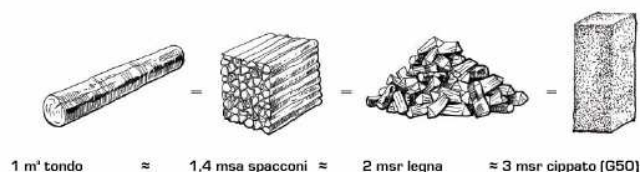
1.7 Rapporti di conversione legno-legna-cippato

La tabella 1.7.1 riporta i fattori orientativi di conversione tra i più comuni assortimenti da energia riportati in allegato alle norme austriache ÖNORM M7132 e M7133 [3].

Tabella 1.7.1 - rapporti di conversione legno-legna-cippato

Assortimento	Legno tondo	Spacconi	Legna spaccata corta		Cippato	
			accatastata	riversata	fino (G30)	medio (G50)
	m ³	msa	msa	msr	msr	msr
1 m ³ tondo	1	1,4	1,2	2,0	2,5	3,0
1 m ³ spacconi 1 m	0,7	1	0,8	1,4	(1,75)	(2,1)
1 msa legna spaccata corta	0,85	1,2	1	1,7		
1 msr legna spaccata corta	0,5	0,7	0,6	1		
1 msr cippato di bosco fino (G30)	0,4	(0,55)			1	1,2
1 msr cippato di bosco medio (G50)	0,33	(0,5)			0,8	1

Nota: una tonnellata di cippato G30 con M 35% corrispondono a circa 4 msr di cippato di abete rosso e a circa 3 msr di cippato di faggio.



POTERE CALORIFICO

Il potere calorifico di un combustibile esprime la quantità di energia che può essere ricavata dalla combustione completa di un'unità di peso.

Il contenuto idrico del legno modifica - **riducendolo** - il potere calorifico del legno.

Parte dell'energia liberata nel processo di combustione è infatti spesa per l'evaporazione dell'acqua e quindi non è disponibile per l'uso termico desiderato.

L'evaporazione dell'acqua «consuma» **2,44 MJ ogni kg di acqua** pertanto si distinguono:

Potere calorifico inferiore: l'acqua liberata è considerata allo stato di vapore, ovvero è stata sottratta l'energia termica necessaria all'evaporazione dell'acqua (calore latente di vaporizzazione dell'acqua a 25° C).

Potere calorifico superiore: nel prodotto della combustione si considera l'acqua allo stato liquido.

Quando non precisato, per "potere calorifico" si intende il potere calorifico inferiore.

2.5 Contenuto idrico e umidità

Il tenore idrico del legno è espresso in termini percentuali secondo le due formule seguenti:

Umidità del legno (anidro) → u (%)

Esprime la massa di acqua presente in rapporto alla massa di legno anidro.

$$u = \frac{P_u - P_0}{P_0} \times 100$$

Contenuto idrico del legno → M (%) o w (%)*

Esprime la massa di acqua presente in rapporto alla massa di legno fresco e rappresenta la misura impiegata nella compravendita dei combustibili legnosi.

$$M = \frac{P_u - P_0}{P_u} \times 100$$

in cui:

P_u = peso del legno umido

P₀ = peso del legno anidro

Potere calorifico

Se riferito all'unità di peso, il potere calorifico del legno nelle diverse specie, a parità di contenuto idrico, **varia molto poco**.

Tuttavia è risaputo che tendenzialmente il legno di latifoglie ha un potere calorifico allo stato anidro leggermente inferiore a quello delle conifere.

Giordano, per il **legno anidro**, riporta **18,1 MJ/kg** e **17,6 MJ/kg**, rispettivamente per le conifere e le latifoglie.

Jonas e Hartman indicano un solo valore valido sia per le conifere che per le latifoglie rispettivamente **18,9 MJ/kg** e **18,5 MJ/kg**.

MODERNI APPARECCHI E CALDAIE

Figura 2.8.2 - Variazione del pc (con $pc_0 = 5,14 \text{ kWh/kg}$) in funzione di M.

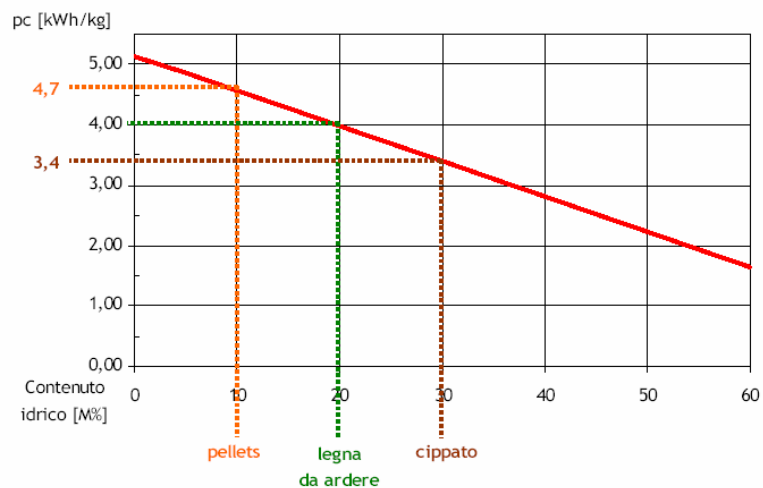


Tabella 2.7.1 Potere calorifico, contenuto di ceneri e loro punto di fusione in alcuni biocombustibili solidi^[2, 6, 7]

	pc ₀ MJ/kg	Ceneri (% ss)	Punto di fusione delle ceneri (°C)
Abete rosso (con corteccia)	18,8	0,6	1.426
Faggio (con corteccia)	18,4	0,5	1.340
Pioppo (SRC)	18,5	1,8	1.335
Salice (SRC)	18,4	2,0	1.283
Corteccia di conifere	19,2	3,8	1.440
Legno di vite (cippato)	19,8	3,4	1.450
Miscanto	17,6	3,9	973
Paglia di frumento	17,2	5,7	998
Granella di triticale	16,9	2,1	730
Pannello di colza	21,2	6,2	-

Tabella 1.7.3 - Masse volumiche e steriche di alcune specie forestali [2]

Cont. idrico M %	Faggio			Quercia			Abete rosso			Pino		
	m ³	Lsp ms	Cip msr	m ³	Lsp ms	Cip msr	m ³	Lsp ms	Cip msr	m ³	Lsp ms	Cip msr
masse volumiche e steriche in kg ⁽¹⁾												
0	680	422	280	660	410	272	430	277	177	490	316	202
10	704	437	290	687	427	283	457	295	188	514	332	212
15	716	445	295	702	436	289	472	304	194	527	340	217
20	730	453	300	724	450	298	488	315	201	541	349	223
30	798	495	328	828	514	341	541	349	223	615	397	253
40	930	578	383	966	600	397	631	407	260	718	463	295
50	1117	694	454	1159	720	477	758	489	312	861	556	354

È stata impiegata l'equivalenza 1m³ tondo=2,43 msr (cv=0,41 m³/msr) di cippato.
 Sigle: Lsp=legna spaccata (33 cm, accatastata), Cip=cippato.

⁽¹⁾ Nell'intervallo di contenuto idrico (M) 0-23%, i valori sono stati calcolati a partire dalle masse volumiche anidre di tabella 1.5.3. Le masse volumiche e steriche (con acqua) di volta in volta calcolate sono state corrette impiegando i seguenti fattori di rigonfiamento volumetrico: faggio 21,8%, quercia 13,9%, abete rosso 13,5%, pino 13,8%, assumendo un andamento lineare della variazione del volume nell'intervallo di contenuto idrico considerato.

Tabella 2.8.1 - Variazione del pc in funzione di M ($pc_0=18,5$ MJ/kg)

M (%)	MWh/t	GJ/t	M (%)	MWh/t	GJ/t
15	4,27	15,36	38	2,93	10,54
16	4,21	15,15	39	2,87	10,33
17	4,15	14,94	40	2,81	10,12
18	4,10	14,73	41	2,76	9,91
19	4,04	14,52	42	2,70	9,71
20	3,98	14,31	43	2,64	9,50
21	3,92	14,10	44	2,58	9,29
22	3,86	13,89	45	2,52	9,08
23	3,80	13,68	46	2,47	8,87
24	3,75	13,47	47	2,41	8,66
25	3,69	13,27	48	2,35	8,45
26	3,63	13,06	49	2,29	8,24
27	3,57	12,85	50	2,23	8,03
28	3,51	12,64	51	2,17	7,82
29	3,45	12,43	52	2,12	7,61
30	3,40	12,22	53	2,06	7,40
31	3,34	12,01	54	2,00	7,19
32	3,28	11,80	55	1,94	6,98
33	3,22	11,59	56	1,88	6,77
34	3,16	11,38	57	1,82	6,56
35	3,11	11,17	58	1,77	6,35
36	3,05	10,96	59	1,71	6,15
37	2,99	10,75	60	1,65	5,94

CIPPATO di LEGNO

Parametri energetici indicativi



	Unità di misura	Valori
Massa sterica	kg/msr	220 - 320
Contenuto idrico (M)	%	30
Potere calorifico inferiore	kWh/kg	3,4
Densità energetica	kWh/msr	750 - 1100
Ceneri	% (in peso)	1 - 3

PELLET di LEGNO

Parametri energetici indicativi



	Unità di misura	Valori
Massa sterica	kg/msr	600 - 650
Contenuto idrico (M)	%	8-10
Potere calorifico inferiore	kWh/kg	4,7
Densità energetica	kWh/msr	2800 - 3000
Ceneri	% (in peso)	0,7 – 1,5

NORMATIVA

Combustibili legnosi

4. REQUISITI QUALITATIVI E NORME DI RIFERIMENTO

La classificazione qualitativa dei biocombustibili solidi è definita a livello europeo dalla specifica tecnica CEN/TS 14961 (*Solid biofuels, fuel specification and classes*, 2005), sulla base della quale nel 2007 è stata pubblicata in Italia la specifica tecnica UNI/TS 11264 "Caratterizzazione di legna da ardere, brichette e cippato".



Tabella 4.1.1

Origine e provenienza		Tronchi di conifera e latifolia (1.1.2.1, 1.1.2.2, 1.1.2.3)	
Tipologia commerciale		LEGNA DA ARDERE	
NORMATIVA	Dimensione o Pezzatura		
	Lunghezza (L) Spessore (D) (diametro massimo del singolo pezzo)		
	P200-	L < 200 e D < 20 (legnetti da accensione)	
	P200	L = 200 ± 20 e 40 ≤ D ≤ 150 mm	
P250	L = 250 ± 20 e 40 ≤ D ≤ 150 mm		
P330	L = 330 ± 20 e 40 ≤ D ≤ 160 mm		
P500	L = 500 ± 40 e 60 ≤ D ≤ 250 mm		
P1000	L = 1000 ± 50 e 60 ≤ D ≤ 350 mm		
P1000+	L > 1000 (indicare lunghezza e diametro reale)		
Contenuto idrico (M)			
M20	≤ 20%	pronta all'uso	
M30	≤ 30%	stagionata al coperto	
M40	≤ 40%	stagionata in bosco	
M65	≤ 65%	legno fresco, appena tagliato in bosco	
Tipo di legno (composizione) Indicare la specie legnosa o se si tratta di legno di latifoglie o di conifere o miscuglio delle due			

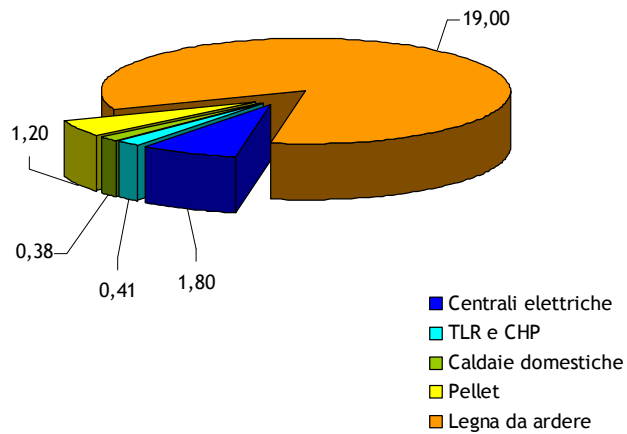
Tabella 4.1.2

Origine e provenienza		Biomassa legnosa non contaminata (1.1.1, 1.1.2, 1.1.3, 1.1.4, 1.1.6, 1.2.1.1, 1.2.1.2, 1.2.1.4)		
Tipologia commerciale		LEGNO CIPPATO		
NORMATIVA	Dimensioni o Pezzatura			
	Frazione principale >80% (massa)			
	P 16	3,15 mm ≤ P ≤ 16 mm	< 1 mm	> 45 mm, tutto < 85 mm
	P 45	3,15 mm ≤ P ≤ 45 mm	< 1 mm	> 63 mm
P 63	3,15 mm ≤ P ≤ 63 mm	< 1 mm	> 100 mm	
P 100	3,15 mm ≤ P ≤ 100 mm	< 1 mm	> 200 mm	
Contenuto idrico (M)				
M20	≤ 20% - essiccato			
M30	≤ 30% stagionato all'aria e adatto ad essere stoccato nel silo			
M40	≤ 40% non stagionato e non adatto ad essere stoccato nel silo			
M55	≤ 55%			
M65	≤ 65%			
Contenuto di cenere (%ss)				
A0.7	≤ 0,7%			
A1.5	≤ 1,5%			
A3.0	≤ 3,0%			
A6.0	≤ 6,0%			
A10	≤ 10,0%			

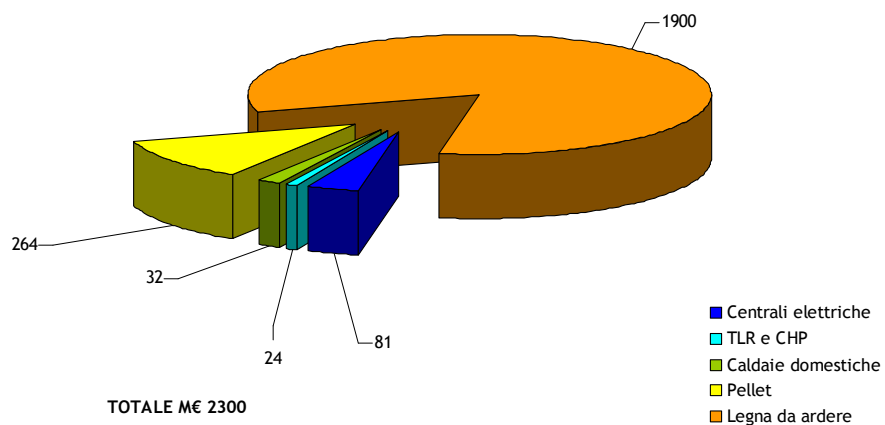
MERCATO e PREZZI

Consumo di combustibili legnosi in Italia in Mt/a (Francescato, Antonini 2009)

Consumo di combustibili legnosi in Mt/a (AIEL, 2009)



Valore economico dei combustibili legnosi in ITALIA in M€/a (AIEL, 2009)



ALBERGHI BL: 3-4 M € di cippato

PREZZI COMBUSTIBILI

COMBUSTIBILE	€/t		
Legna ardere			
1 m	45	49	}
30-40 cm	100	130	
Cippato	30	85	}
Pellet			
Dettaglio	200	260	}
Ingrosso	160	210	
Briquettes			
Dettaglio (conf. da 10-20 kg)	250	280	}
Ingrosso (25-35 conf. da 10 kg)	130	180	

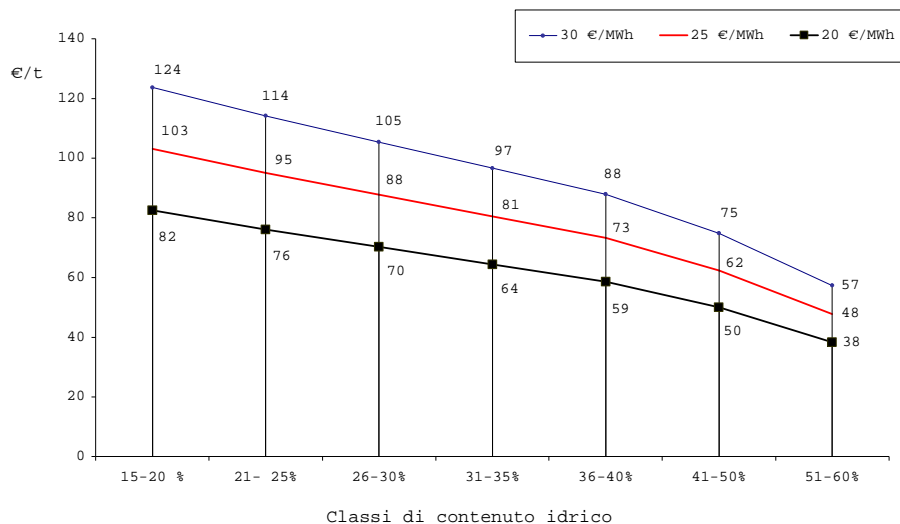
GASOLIO, 0,8-1,0 €/litro, 10 kWh

METANO, 0,6-0,7 €/mc, 10 kWh

GPL, 0,7-1,2 €/litro, 6,82 kWh

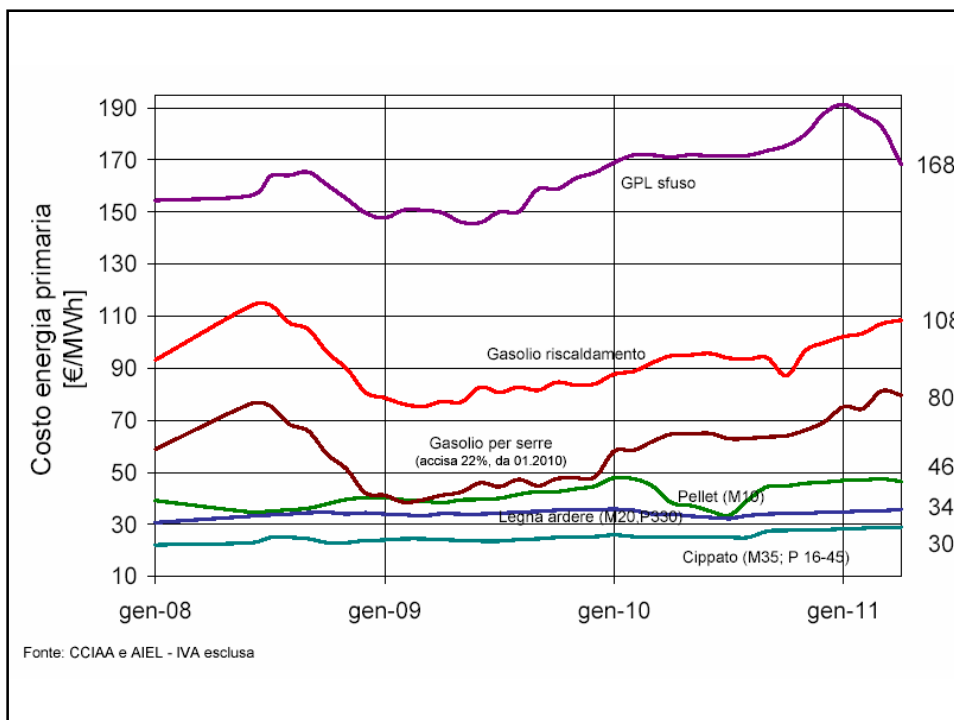
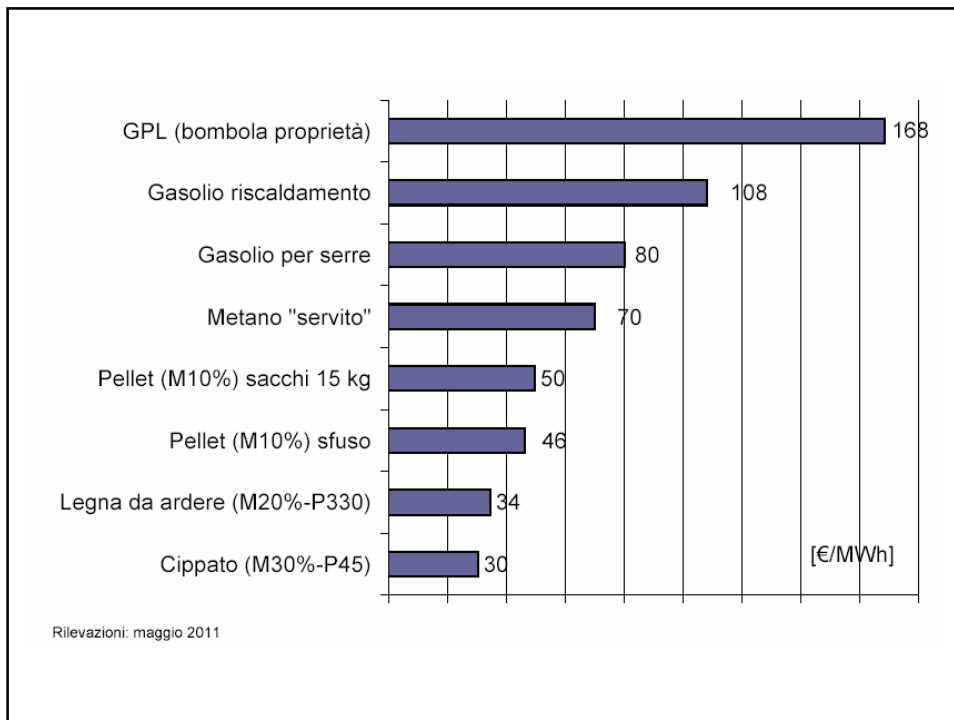
Rilevazioni: MAGGIO 2011		Prezzo IVA escl.	Prezzo energia	Rapporto
	MWh	€	€/MWh	
1 t cippato (M25-30% -P45)	3,40	103	30	1,00
1 t cippato (M35%-P45)	3,11	93	30	0,99
1 t cippato (M50%-P45)	2,23	63	28	0,93
1 t legna ardere dura (M20-25%-P330)	3,69	127	34	1,14
1 t legna ardere tenera (M20-25%-P330)	3,98	88	22	0,73
1 t Pellet (M10%) sfuso	4,70	218	46	1,53
1 t Pellet (M10%) sacchi 15 kg	4,70	233	50	1,64
100 mc metano "servito"	1,00	68	68	2,24
1 t Gasolio per serre	11,67	936	80	2,65
1 t Gasolio riscaldam.	11,67	1261	108	3,57
1000 l GPL (bombola proprietà)	6,82	1147	168	5,55

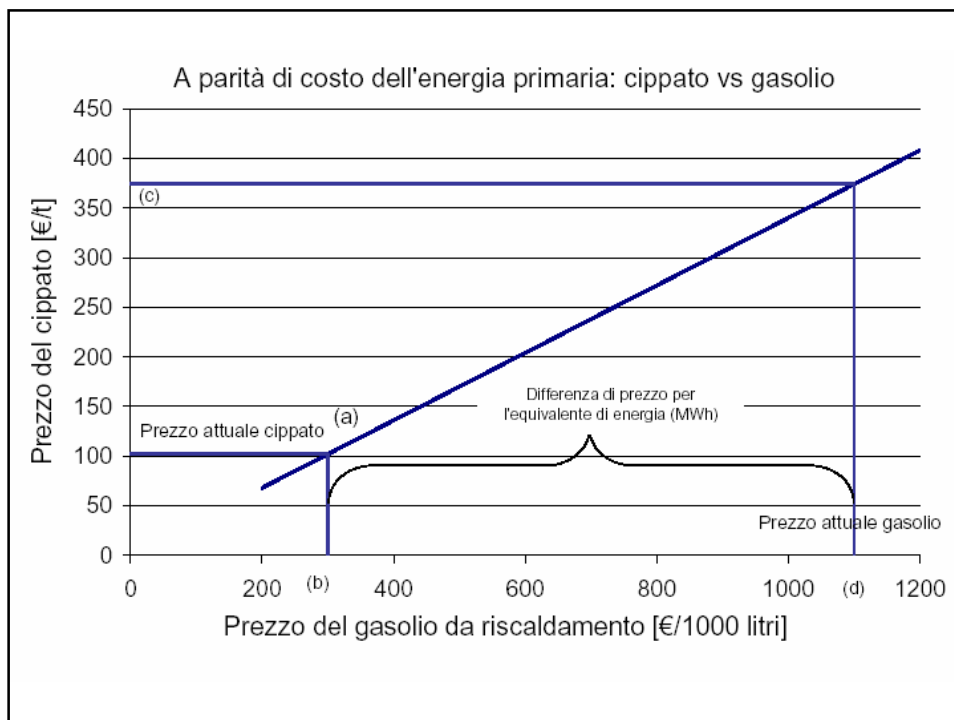
Prezzo/Costo energia: cippato



Classi (M%) e prezzo del cippato

€/MWh 20,00		Prezzo cippato (€/t)	
Classi di w%	Range	IVA escl.	IVA incl.
W 20	15-20 %	€ 82	€ 91
W 25	21- 25%	€ 76	€ 84
W 30	26-30%	€ 70	€ 77
W 35	31-35	€ 64	€ 71
W 40	36-40	€ 59	€ 64
W 50	41-50	€ 50	€ 55
W 60	51-60	€ 38	€ 42





ALIQUOTA IVA del cippato

In considerazione della suddetta classificazione, la scrivente ritiene che alla cessione del prodotto sopra indicato si renda applicabile l'aliquota Iva del 10 per cento di cui alla Tabella A, parte III, allegata al D.P.R. n. 633 del 1972, che, al punto 98), richiamando la voce 44.01, menziona espressamente "legna da ardere in tondelli, ceppi, ramaglie o fascine; cascami di legno, compresa la segatura".

METODOLOGIA VALUTAZIONE DEGLI INVESTIMENTI

TIPOLOGIE DI ANALISI

- **Analisi FINANZIARIA** = costi e ricavi sono valutati ai prezzi di mercato; valore reale (PRIVATI)
- **Analisi ECONOMICA** = si valutano i costi e i benefici sociali collegati alla realizzazione dell'investimento (ENTI PUBBLICI)

Esempio: valut. semplificata

$$\frac{118.486 \text{ €} + (T \times 2.141 \text{ €})}{(T \times 8.700 \text{ €})} + 9.772 \text{ €} = \text{Minore di 1 con } T > 17 \text{ (Dt)}$$

I = Investimento (118.486 €)

T = Periodo di funzionamento (anni) – VARIABILE DA RICERCARE

CC = Costo annuo cippato (2.141 €)

CCR = Costo annuo combustibile risparmiato (8.700 € → GPL)

CMS = Costo mancata sostituzione generatori (2.443 x 4 generat. = € 9.772)

Dt = Durata tecnica (es. si fissa in 15 anni)

Es.: Excel

Osservazioni

- Si suppone che:
 - identici costi manutenzione annui;
 - medesima spesa di energia elettrica;
 - possibili detrazioni, incentivi e contributi
 - etc...
- ma soprattutto:
 - si trascura il FATTORE TEMPO

VALUTAZIONE INVESTIMENTO (SEMPLIFICATA)

- Investimento **240.000 €** (tutto compreso, nel 2008)
 - Costo cippato $26 \text{ €/msr} \times 500 \text{ msr/anno} = \mathbf{13.000 \text{ €/a}}$
 - Costo gasolio $1,12 \text{ €/l} \times 35.000 \text{ l/a} = \text{ca. } \mathbf{40.000 \text{ €/a}}$
 - Risparmio: **27.000 €/a**
 - Ammortamento semplice: $240.000/27.000 = \mathbf{9 \text{ anni}}$
 - durata investimento: **25 anni**
 - guadagno: $25-9=16 \text{ anni} \times 27.000 = \mathbf{432.000 \text{ €}}$
- **Valore aggiunto per il territorio locale:**
- componente 1 (gasolio): $40.000 \text{ €} \times 25 \text{ anni} = \mathbf{1.000.000 \text{ €}}$
 - componente 2 (cippato locale): $13.000 \times 25 \text{ anni} = \mathbf{325.000 \text{ €}}$

IL FATTORE “TEMPO”

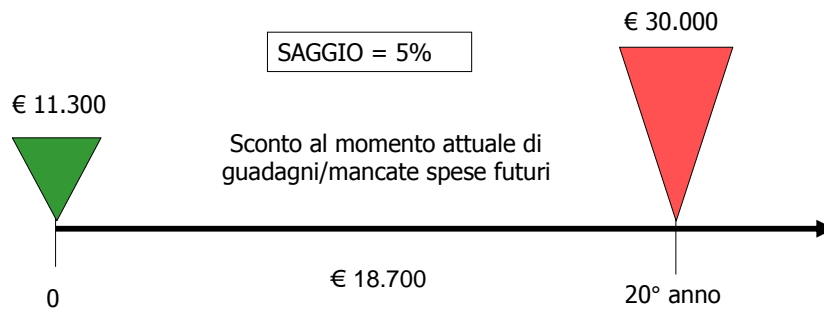
INVESTIMENTI che hanno una durata economica di

15-25 anni

II VALORE FINANZIARIO del TEMPO

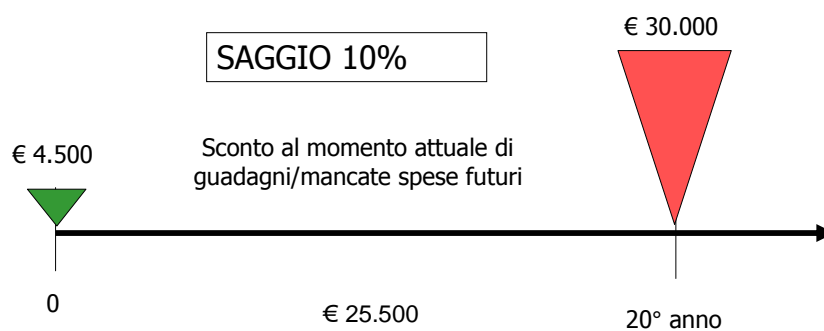
Come è possibile valutarlo?

Il valore finanziario del TEMPO

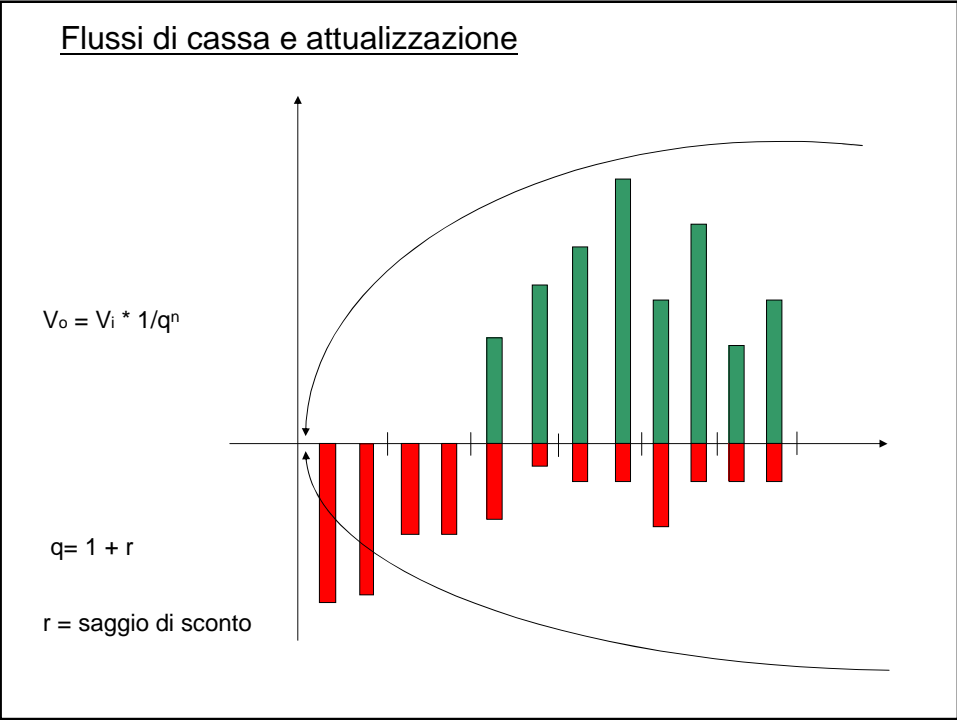
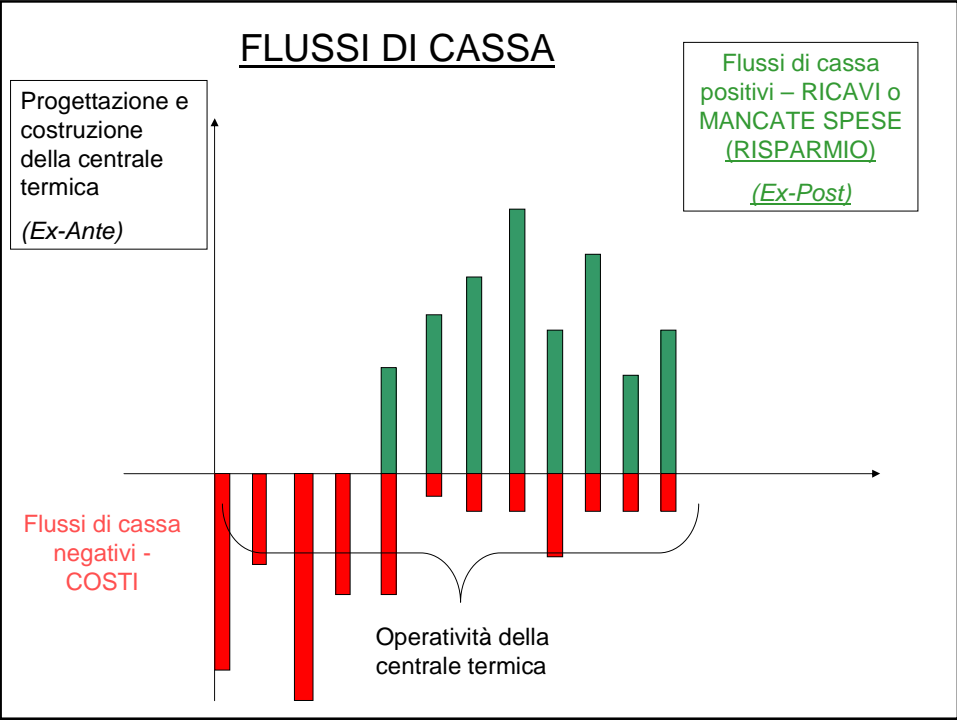


ASPETTATIVA DI REMUNERAZIONE
DEL CAPITALE bassa

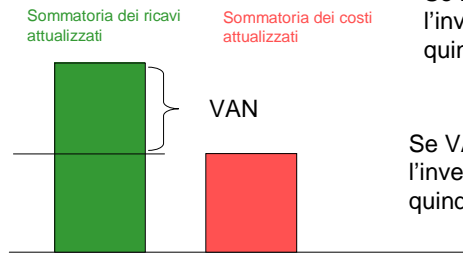
Il valore finanziario del TEMPO



ASPETTATIVA DI REMUNERAZIONE
DEL CAPITALE alta



Valore Attuale Netto (VAN)



Al momento attuale (ADESSO)

Se il VAN > 0
l'investimento genera ricchezza e va quindi realizzato.

Se VAN < 0
l'investimento "brucia" risorse e andrebbe quindi "bocciato".o RIVISTO!

Rappresenta la ricchezza incrementale generata dall'investimento, espressa come se fosse immediatamente disponibile nell'istante in cui viene effettuata la valutazione.

Analiticamente risulta determinato come somma algebrica dei flussi di cassa operativi attesi dalla realizzazione dell'intervento, scontati al tasso (r) corrispondente al costo stimato del capitale investito.

Analisi di sensitività/rischi

Le analisi, effettuate generalmente in fase ex-ante, comportano UN CERTO LIVELLO DI INCERTEZZA derivante dalle ipotesi effettuate sull'andamento delle variabili esaminate – **REALIZZAZIONE E GESTIONE**.

L'incertezza di stima dei dati e dei parametri utilizzati come base per i calcoli deve essere anch'essa valutata insieme agli altri criteri di giudizio.

A supporto delle valutazioni per il trattamento **DELL'INCERTEZZA** si utilizza **L'ANALISI DI SENSITIVITÀ**.

L'ANALISI DI SENSITIVITÀ valuta infatti l'impatto che ipotizzati cambiamenti delle variabili mostrano di avere sugli indici finanziari ed economici calcolati.

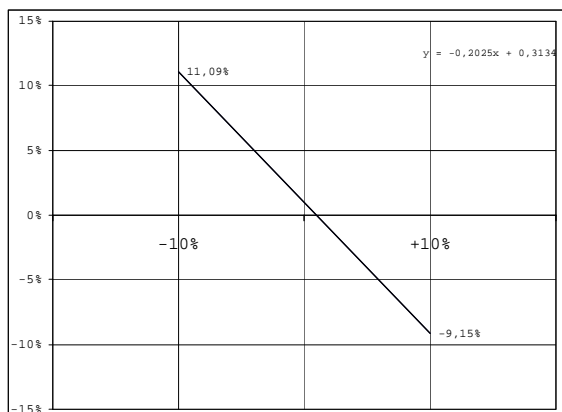
Analisi di sensitività

- Se varia il prezzo del cippato...
- Se ho un contributo del 20-30-50%?
- Se il tasso per il mutuo è 1,25% maggiore?
- Se vendo l'energia a 77-80-82 €/MWh
- Se posso avere una riduzione IRPEF del 41% per 5-10 anni

ANALISI SENSITIVITÀ

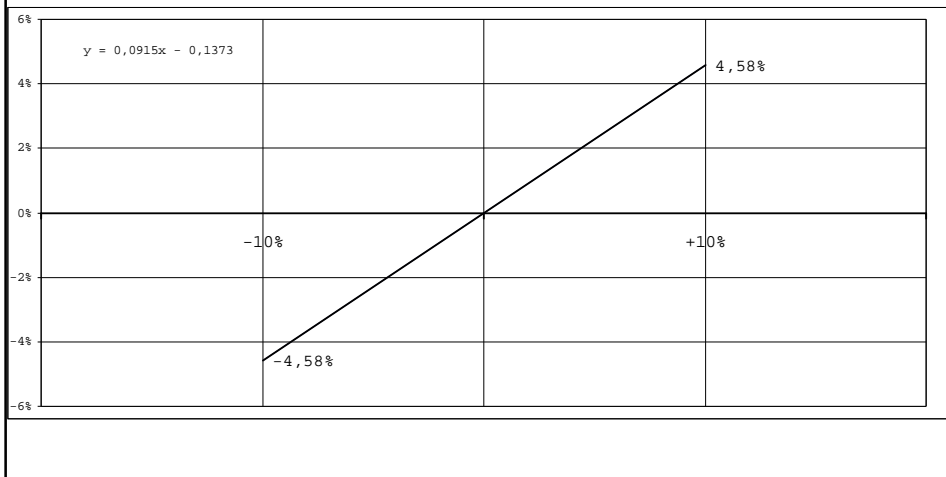
VARIABILE: RENDIMENTO CALDAIA A CIPPATO
 OUTPUT: COSTO PRODUZIONE ENERGIA TERMICA

Variabile (%)	Rendimento (%)	Costo energia (€/MWh)	Variazione (%)
0%	80%	56,8	-
- 10%	72%	63,1	+ 11,9
+ 10%	88%	51,6	- 9,15

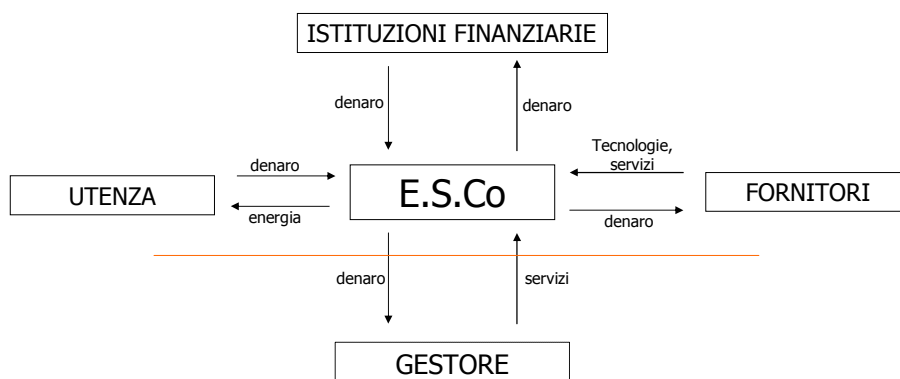


ANALISI SENSITIVITÀ

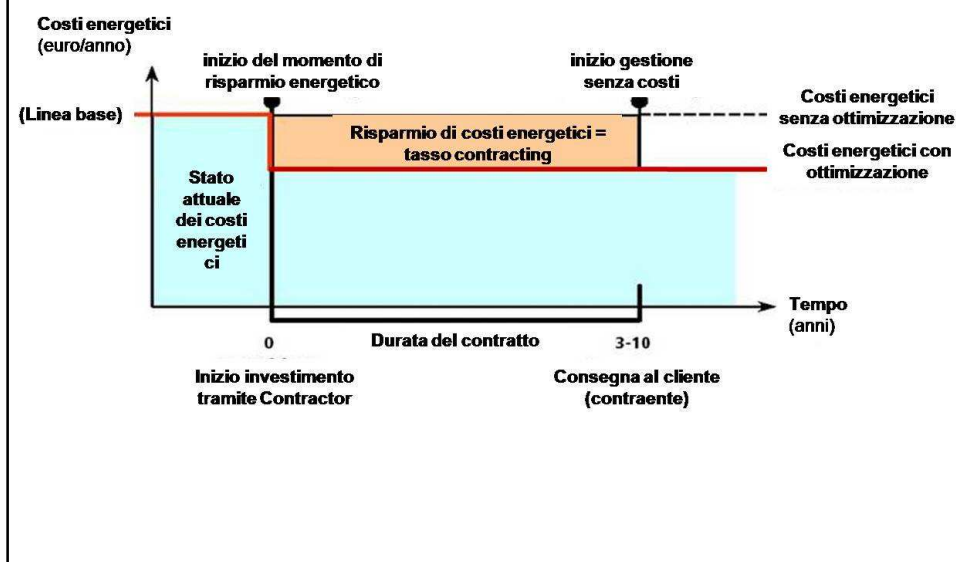
VARIABILE: PREZZO DEL CIPPATO (asse x)
OUTPUT: COSTO PRODUZIONE ENERGIA TERMICA



E.S.Co: soggetti coinvolti



E.S.C.O.



La logica della E.S.Co.

- 1) Consentire un risparmio reale all'UTENTE
 - Tecnologie moderne, AFFIDABILI ed efficienti
 - Ridurre i consumi all'utenza
- 2) Rientrare dell'investimento in tempi ritenuti ragionevoli.

