



Nicola Taraschi – Marco Martinetto

# Le canne fumarie

## FISICA DI BASE, CALCOLO, CARATTERISTICHE FUNZIONALI E NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- **La combustione ed il controllo della combustione**
- **La fisica dei camini e delle canne fumarie**
- **Il calcolo e l'analisi delle canne fumarie secondo la norma UNI 13384**
- **Le canne fumarie collettive**
- **I materiali e la designazione**
- **La normativa di riferimento e le Norme UNI 7129, 10845 e 10683**

### SOFTWARE INCLUSO

CALCOLO CAMINI SINGOLI E CALCOLO TRASMITTANZA E RESISTENZA AL FUOCO DI CANNE FUMARIE

**Glossario** (principali termini tecnico-normativi), **F.A.Q.** (domande e risposte sui principali argomenti),

**Test iniziale** (verifica della formazione di base), **Test finale** (verifica dei concetti analizzati)

Nicola Taraschi – Marco Martinetto

## LE CANNE FUMARIE

ISBN 13 978-88-8207-748-8

EAN 9 788882 077488

Software, 87

Prima edizione, settembre 2015

Taraschi, Nicola <1952->	
Le canne fumarie / Nicola Taraschi, Marco Martinetto.	
– Palermo : Grafill, 2015.	
(Software ; 87)	
ISBN 978-88-8207-748-8	
1. Canne fumarie.	I. Martinetto, Marco <1971->.
697.8 CDD-22	SBN Pal0282266
<i>CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"</i>	

Il volume è **disponibile anche in eBook** (formato \*.pdf) compatibile con **PC, Macintosh, Smartphone, Tablet, eReader**.

Per l'acquisto di eBook e software sono previsti pagamenti con c/c postale, bonifico bancario, carta di credito e paypal.

Per i pagamenti con carta di credito e paypal è consentito il download immediato del prodotto acquistato.

Per maggiori informazioni inquadra con uno smartphone o un tablet il codice QR sottostante.



I lettori di codice QR sono disponibili gratuitamente su Play Store, App Store e Market Place.

© **GRAFILL S.r.l.**

Via Principe di Palagonia, 87/91 – 90145 Palermo

Telefono 091/6823069 – Fax 091/6823313

Internet <http://www.grafill.it> – E-Mail [grafill@grafill.it](mailto:grafill@grafill.it)

Finito di stampare nel mese di settembre 2015

presso **Andersen S.p.A.** Frazione Piano Rosa – 28010 Boca (NO)

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

# INDICE

<b>PREFAZIONE</b> .....	p.	1
<b>1. LA COMBUSTIONE</b> .....	"	3
<b>1.1. Cenni storici</b> .....	"	3
<b>1.1.1. La scoperta del fuoco</b> .....	"	3
<b>1.1.2. Il fuoco venne portato in casa</b> .....	"	4
<b>1.1.3. Il camino nei tempi moderni</b> .....	"	5
<b>1.2. La combustione</b> .....	"	7
<b>1.3. Stechiometria della combustione</b> .....	"	8
<b>1.4. L'eccesso d'aria</b> .....	"	10
<b>1.5. La combustione del gas naturale</b> .....	"	13
<b>1.6. L'aerazione</b> .....	"	15
<b>1.7. Definizioni sui combustibili</b> .....	"	16
<b>1.7.1. Temperatura di infiammabilità</b> .....	"	16
<b>1.7.2. Temperatura di accensione</b> .....	"	16
<b>1.7.3. Temperatura teorica di combustione</b> .....	"	16
<b>1.7.4. Punto di rugiada</b> .....	"	16
<b>1.7.5. Numero di fumo (scala Bacharach)</b> .....	"	17
<b>1.8. Il rendimento della combustione</b> .....	"	17
<b>1.9. Le caldaie a condensazione</b> .....	"	19
<b>1.10. Gli inquinanti</b> .....	"	20
<b>1.10.1. Il monossido di carbonio</b> .....	"	20
<b>1.10.2. Gli NOX</b> .....	"	20
<b>1.10.3. Ossidi di zolfo</b> .....	"	21
<b>1.11. Ottimizzazione della combustione</b> .....	"	21
<b>1.12. I combustibili</b> .....	"	22
<b>1.12.1. Il carbone</b> .....	"	22
<b>1.12.2. Il metano</b> .....	"	22
<b>1.12.3. GPL</b> .....	"	23
<b>1.12.4. La legna</b> .....	"	23
<b>1.12.5. Le biomasse</b> .....	"	24
<b>1.12.6. Il cippato</b> .....	"	24
<b>1.12.7. Il pellet</b> .....	"	25
<b>2. IL CONTROLLO DELLA COMBUSTIONE</b> .....	"	26
<b>2.1. Le sonde</b> .....	"	26

2.1.1.	Le termocoppie .....	p.	26
2.1.2.	I termistori.....	"	28
2.1.3.	Le termoresistenze .....	"	29
2.1.4.	I trasduttori di pressione.....	"	30
2.1.5.	I sensori di gas.....	"	31
2.1.6.	Sensori elettrochimici di ossigeno .....	"	31
2.1.7.	Sensore con foro capillare.....	"	32
2.1.8.	Sensori per CO .....	"	34
2.2.	UNI 10389-1:2009 Misurazione in opera del rendimento di combustione dei generatori di calore.....	"	35
2.2.1.	Scopo e campo di applicazione .....	"	35
2.2.2.	Misurazione in opera del rendimento di combustione .....	"	35
2.2.3.	Calcolo del rendimento di combustione.....	"	37
2.2.4.	Apparecchiatura multifunzione (SEITRON) .....	"	38
<b>3.</b>	<b>LA FISICA DELLE CANNE FUMARIE .....</b>	"	41
3.1.	L'effetto camino .....	"	41
3.2.	Le tipologie di canne fumarie .....	"	43
3.2.1.	Le canne fumarie collettive.....	"	51
3.3.	I parametri fisici.....	"	53
3.4.	La dispersione del calore della canna fumaria.....	"	57
3.5.	Il fattore di raffreddamento.....	"	65
3.6.	Le perdite di carico .....	"	67
3.7.	Le perdite di carico concentrate.....	"	69
3.8.	Le perdite del camino secondo le norme .....	"	73
3.9.	La fumisteria fornita dal costruttore .....	"	73
<b>4.</b>	<b>IL CALCOLO DELLE CANNE FUMARIE .....</b>		
	<b>SECONDO LA UNI 13384/1 .....</b>	"	76
4.1.	La norma UNI 13384-1.....	"	76
4.2.	Il calcolo dei camini.....	"	77
4.2.1.	I camini a pressione negativa .....	"	78
4.2.2.	I camini con pressione positiva .....	"	78
4.3.	Esempio di calcolo 1 .....	"	81
4.4.	Esempio di calcolo con pressione positiva .....	"	83
4.5.	Relazioni fra i parametri del camino.....	"	83
4.5.1.	L'equazione del camino .....	"	83
4.5.2.	Relazione fra diametro e altezza camino a potenza nominale costante con $PZE = PZ$ .....	"	84
4.5.3.	Relazione fra diametro e potenza nominale con $H =$ costante.....	"	86
4.5.4.	Relazione fra diametro e temperatura fumi in uscita dal generatore con $H =$ costante .....	"	88

4.5.5.	Relazione fra diametro e temperatura esterna con $H = \text{costante} = 8 \text{ m}$ e $PZE = PZ$ .....	p.	89
4.5.6.	Relazione fra diametro e $\text{CO}_2\%$ con $H = \text{costante}$ e $PZE = PZ$ .....	"	90
4.5.7.	Relazione fra diametro e spessore dell'isolante con $H = \text{costante}$ e $PZE = PZ$ .....	"	92
4.5.8.	Modulazione di potenza con $H = \text{costante}$ e $D = \text{costante}$ .....	"	93
4.5.9.	Variazione di $PZ$ con $D = \text{costante}$ .....	"	94
4.6.	Il diametro critico.....	"	95
4.7.	Le condizioni di lavoro delle caldaie.....	"	96
4.8.	L'inerzia termica.....	"	98
4.9.	Camini concentrici.....	"	102
<b>5.</b>	<b>CANNE COLLETTIVE</b> .....	"	105
5.1.	La norma UNI 10640.....	"	105
5.1.1.	Le verifiche .....	"	106
5.2.	La norma UNI 10641.....	"	108
5.3.	Il calcolo secondo la UNI 10640 .....	"	108
5.3.1.	Le proprietà fisiche dei fumi .....	"	110
5.3.2.	Esempio per apparecchi tipo B .....	"	110
5.4.	Il calcolo secondo la UNI 10641, generatori di tipologia C.....	"	119
5.4.1.	Tipologia C con apertura di ventilazione alla base.....	"	119
5.4.2.	Esempio tipologia C con condotto fumi ed aria separati.....	"	123
5.5.	Il programma ASTER per il calcolo delle canne fumarie.....	"	124
5.6.	Il software a corredo del testo.....	"	129
<b>6.</b>	<b>I MATERIALI E LA DESIGNAZIONE</b> .....	"	130
6.1.	I materiali delle canne fumarie .....	"	130
6.1.1.	Acciaio Inox.....	"	130
6.1.2.	Rame .....	"	133
6.1.3.	Plastica .....	"	133
6.1.4.	Calcestruzzo.....	"	133
6.1.5.	Terracotta/ceramico.....	"	135
6.1.6.	Laterizio .....	"	137
6.2.	Video ispezione.....	"	138
6.3.	Risanamento.....	"	139
6.3.1.	Vetrificazione con malta RAAB.....	"	139
6.3.2.	Intubamento con condotto sintetico Furanflex .....	"	139
6.4.	I componenti delle canne fumarie inox.....	"	140
6.5.	Comignoli .....	"	141
6.6.	Regolatore di tiraggio .....	"	142
6.7.	Il termostato fumi.....	"	142
6.8.	La dilatazione termica.....	"	142

6.9.	La designazione dei camini .....	p.	144
6.9.1.	Il regolamento UE n. 305/2011 .....	"	144
6.9.2.	La UNI EN 1443/2005 .....	"	146
6.9.3.	La UNI EN 1856-1 e 1856-2 per camini metallici.....	"	153
6.9.4.	La UNI EN 14471:2014 per camini plastici .....	"	154
6.9.5.	La UNI EN 1857:2010 per camini in calcestruzzo .....	"	156
6.9.6.	La UNI EN 1457:2012 per camini in terracotta/ceramica .....	"	157
6.9.7.	La UNI EN 1806:2006 per camini in laterizio.....	"	158
7.	<b>LA NORMATIVA</b> .....	"	160
7.1.	Le norme .....	"	160
7.2.	Riferimenti normativi .....	"	161
7.3.	La norma UNI 7129-3 2008.....	"	164
7.3.1.	Principali definizioni .....	"	164
7.3.2.	Apparecchi di tipo B a tiraggio naturale .....	"	164
7.3.3.	Apparecchi di tipo C .....	"	165
7.3.4.	Disposizioni generali per camini, canne fumarie, condotti intubati .....	"	165
7.3.5.	Dimensioni dei condotti intubati.....	"	166
7.3.6.	Quote di sbocco.....	"	167
7.4.	La norma UNI 10845: 2000.....	"	169
7.5.	La norma UNI 11528:2014.....	"	171
7.6.	La norma UNI 10683:2012.....	"	177
7.7.	Programma calcolo temperature camino .....	"	179
8.	<b>INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE ALLEGATO</b> .....	"	184
8.1.	Note sul software incluso.....	"	184
8.2.	Requisiti hardware e software.....	"	184
8.3.	Download del software e richiesta della password di attivazione.....	"	184
8.4.	Installazione ed attivazione del software .....	"	185
9.	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	"	186

## PREFAZIONE

### **Il perché di questo testo**

Questo testo vuol colmare un “vuoto” nella letteratura termotecnica italiana, caratterizzato dalla mancanza di una pubblicazione sulle canne fumarie. Sull’argomento non mancano i riferimenti, sia sulle pubblicazioni cartacee che sul web, ma questa miriade di riferimenti non possono costituire una argomentazione unitaria e completa, che è invece lo scopo che questo testo si prefigge. Si intende quindi fornire a quanti sono interessati all’argomento, tecnici, studenti, installatori, produttori, un contenuto che raccolga gli aspetti tecnici, descrittivi e normativi essenziali sulle canne fumarie.

### **La canna fumaria componente fondamentale dell’impianto termico**

L’attenzione crescente agli aspetti legati all’inquinamento e al risparmio energetico inducono forzatamente a considerare con maggiore attenzione tutte le tematiche tecniche legate a questa “appendice” dell’impianto. Basti pensare che il calcolo della canna fumaria, prima della UNI 9615, era basato su formule semiempiriche che non tenevano conto di tanti, troppi fattori. Canne fumarie in muratura, poco isolate e permeabili ai fumi, hanno “popolato” i nostri edifici. L’avvento delle canne in acciaio inox, del tutto impermeabili ai fumi e isolate termicamente sono la risposta dell’evoluzione tecnica alle problematiche delle vecchie canne fumarie. Se vogliamo considerare l’argomento in se stesso la canna fumaria è il componente termotecnico che raccoglie più tematiche e fra loro strettamente connesse: la combustione, il moto dei gas, la trasmissione del calore. La combustione in generale ed il tipo di combustibile sono strettamente connessi alla quantità e qualità dei fumi. Questa quantità e qualità dei fumi determinano il moto dei gas combusti ed eventualmente dell’aria comburente che affluisce al generatore di calore. L’ultimo aspetto, l’isolamento termico, influenza sia il moto che le condizioni termiche negative, quali la condensa dei fumi. I parametri che influenzano il funzionamento di una canna fumaria sono pertanto molteplici e tutti fra loro strettamente interconnessi.

### **Idee tecniche e non solo contenuti**

I contenuti di questo testo vogliono spaziare da quelli prettamente tecnici a quelli descrittivi a quelli normativi. L’aspetto normativo ha nel campo delle canne fumarie particolare importanza. Il testo non può essere una semplice riproduzione di norme, non solo per problemi legati ai diritti d’autore e per problemi di spazi. Si intende promuovere una cultura di base ed una sensibilità alle problematiche tecniche e normative. Chi opera o opererà nel campo, e sarà quindi tenuto a rispettare gli aspetti normativi, si procurerà poi le norme che lo interessano, che sia un progettista o un installatore o un produttore, per approfondire gli aspetti normativi, che saranno variabili nel tempo. La norma, tuttavia, indica solo delle metodologie operative e dei dati tecnici, e rappresenta l’ultimo stadio della operatività del professionista. La norma

non stimola riflessioni sui parametri coinvolti nel calcolo o nell'installazione e non fornisce spiegazioni sulla formulazione delle indicazioni. L'approccio alla norma diventa produttivo solo quando vi è alla base una cultura specifica. La nostra intenzione è quella, oltre che dare cultura, anche quella di promuovere una metodologia ed una riflessione critica sulle tematiche piuttosto che dare delle semplici indicazioni operative.

### **Gli argomenti**

Non si poteva redigere un testo sulle canne fumarie senza considerare in prima istanza la combustione e i combustibili, argomento che si può dire costituisce la base di ogni discussione sull'argomento. Il primo capitolo vuole quindi rispondere alla prima domanda che è possibile fare sulle canne fumarie: la quantità dei gas combusti, la loro composizione e le loro condizioni termiche .

Il secondo capitolo risponde all'esigenza che, una volta acquisiti gli aspetti culturali legati alla combustione, è necessario essere in grado di controllarla, e in tal senso si fa riferimento alla norma UNI 10389.

Il controllo della combustione non può prescindere dalle necessarie conoscenze tecniche della strumentazione impiegata, di cui vengono illustrate le conoscenze fondamentali.

Il terzo capitolo costituisce una introduzione alle tematiche descrittive e di calcolo delle canne fumarie. Dopo la descrizione dell'effetto camino si descrivono le tipologie delle canne fumarie singole e collettive. Successivamente vengono approfonditi gli aspetti di base legati ai parametri termici, agli aspetti fluidodinamici, a quelli della trasmissione del calore.

Il quarto capitolo sviluppa gli aspetti legati al calcolo e all'influenza delle grandezze inerenti il dimensionamento delle canne fumarie singole con particolare riferimento alla norma 13384-1.

Il quinto capitolo sviluppa gli aspetti legati al calcolo delle canne fumarie collettive di tipologia B e C con particolare riferimento alla norme 10601, 10641 e 13384-2.

Il sesto capitolo illustra i materiali delle canne fumarie e quindi la designazione nel rispetto delle norme per tutti i materiali.

Il settimo capitolo presenta un elenco della ricca normativa in vigore e riassume le tematiche fondamentale delle principali norme: la UNI 7129, 10845, 15287, 10683, ecc..

Il testo è accompagnato da fogli di calcolo, in formato *Excel*, che sviluppano i calcoli utilizzati nella redazione di questo testo.

*Gli Autori*

### **Patrocinio al testo del gruppo Assocamini**

Il Gruppo Assocamini di Confindustria Ceced Italia rappresenta l'industria nazionale dei produttori di camini e canne fumarie. Assocamini si pone come elemento di confronto tra l'industria del settore, con lo scopo di valorizzare il comparto nel sistema paese e perseguire obiettivi, di grande interesse per la tutela degli interessi degli associati, tramite attività di informazione, formazione, promozione, e rappresentanza negli ambiti istituzionali di riferimento. Scopo del Gruppo camini e canne fumarie è la promozione della cultura dell'eccellenza all'utilizzo di camini di qualità, sostenendo in ogni sede l'obbligo di installazione di prodotti camino, certificati secondo la Direttiva Prodotti da Costruzione, Marcati CE. Per opportune informazioni [www.assocamini.it](http://www.assocamini.it).

*Davide Castagna*  
Senior Key Account Manager



## LA COMBUSTIONE

### 1.1. Cenni storici

#### 1.1.1. *La scoperta del fuoco*

Oltre quattro milioni di anni fa, in Africa vivevano alcune specie di ominidi, gli australopitechi, i quali camminavano costantemente in posizione eretta. Avevano pertanto le mani libere ed è probabile che se ne servissero per procurarsi e usare bastoni, fogli, cortecce. Solo in un'epoca più recente (3-2,5 milioni di anni fa) pare che gli australopitechi abbiano iniziato a usare, come strumenti per tagliare o spezzare altri oggetti, pietre appuntite o taglienti che trovavano normalmente in natura. Intorno a due milioni e mezzo di anni fa alcuni di questi australopitechi diedero origine al primo essere che si possa ritenere appartenente alla specie umana: *homo habilis*. Due caratteristiche rendevano "umano" *homo habilis*, distinguendolo nettamente dagli australopitechi: costruiva e usava in modo sistematico ciottoli scheggiati e altri strumenti litici; possedeva un rudimentale linguaggio, per cui poteva trasmettere ai suoi simili le proprie conoscenze, ad esempio sul modo di lavorare la pietra o di usarla. I miglioramenti tecnici di *homo habilis* rispetto agli antenati permisero la costruzione di strumenti offensivi più efficaci e favorirono quindi risultati migliori nella caccia.

Una conseguenza importantissima di tutto ciò fu il cambiamento delle abitudini alimentari, con il passaggio da una dieta quasi esclusivamente vegetariana a una onnivora. Ma ciò che cominciava a cambiare era anche il rapporto con il fuoco. Inizialmente la visione del fuoco, da parte di questi lontani progenitori, doveva rappresentare una esperienza di grande terrore. Ad atterrirli non era soltanto la sua spaventosa forza distruttrice, capace di divorare intere foreste, ma anche il modo con cui esso prendeva vita.

Il fulmine squarciava le tenebre, il tuono agitava il loro sonno reso già inquieto dalla paura delle bestie feroci; il vulcano riversava lava sui suoi fianchi facendo tremare la terra. In seguito i più coraggiosi, spinti dal desiderio di conoscenza che animava sempre più le loro menti, vinsero la paura delle fiamme e si avvicinarono ad esse; allungarono degli esili ramoscelli e colsero finalmente quella energia misteriosa e parlante. Quella piccola fiamma adesso consumava con estrema lentezza il fragile ramoscello, racchiudendo in sé il segreto per far scivolare la notte nel giorno senza più paura. A questo punto essi si prodigarono con ogni sforzo per mantenere accese quelle fiamme, frutto dell'intelligenza nascente.

*Homo habilis* scomparve circa 1,3 milioni di anni fa, ma nel frattempo da esso era derivata una nuova specie umana, denominata *homo erectus*. Esso era più alto di *homo habilis* (raggiungeva i 140-160 cm.) e aveva un cervello assai più sviluppato: si passa da meno della metà dell'uomo attuale a quasi i 2/3. Egli manifestò in vari modi questa sua superiore capacità intellettuale. Viveva ormai regolarmente in luoghi che usava per un tempo abbastanza prolungato, in molti casi tornando a utilizzarli in base alle stagioni dell'anno. In essi orga-

nizzava la caccia, macellava le prede, consumava i pasti e spesso costruiva muri di pietra come riparo. Ciò che spinse homo erectus a vivere per periodi abbastanza lunghi nello stesso luogo fu soprattutto una novità di straordinaria importanza: egli imparò ad “addomesticare” il fuoco. Questa importante acquisizione venne probabilmente raggiunta per la prima volta in Africa, circa 1 milione di anni fa, mentre in Asia e in Europa l’uso e la produzione del fuoco sono attestati con certezza solo a partire da circa 500.000 anni fa.

### 1.1.2. *Il fuoco venne portato in casa*

Successivamente gli uomini riuscirono a comprendere che battendo una pietra con un’altra pietra o sfregando con forza i rami secchi, si producevano scintille, che cadendo sulle foglie secche, rametti di legno, accendevano il fuoco. Importantissimi furono i numerosi vantaggi che questa scoperta ha determinato nella vita dell’uomo. Il fuoco venne portato in “casa”.

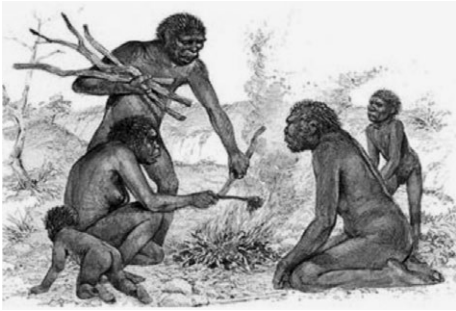


Figura 1.1.



Figura 1.2.

Il problema di un riparo chiuso si pose all’*homo erectus* quando dovette rinunciare ai ripari naturali (muri di pietra, alberi, cespugli) e per esigenza di ripararsi dal freddo e proteggere quel bene prezioso appena scoperto, si spostò nelle caverne e grotte. La capacità di accendere il fuoco permise agli uomini di difendersi dal freddo e di tenere lontani gli animali, illuminò le caverne liberandole dal buio della notte, permettendo le prime manifestazioni di arte paleolitica (pitture rupestri); consentì di cuocere i cibi e di consumarli insieme attorno ad un focolare scavato nel terreno, facilitando l’instaurarsi dei legami famigliari.

Intorno al fuoco avvennero probabilmente i primi “racconti” dei cacciatori, fatti ancora di gesti e di suoni inarticolati, ma già fondamentali per risaldare le amicizie e per trasmettere le esperienze degli adulti alle giovani generazioni. Intorno a quei fuochi, nacque probabilmente la prima forza di educazione.

La scoperta del fuoco portò anche un cambiamento fisico dell’uomo. La mandibola, che mangiava carni più tenere, rimpicciolì e rese inutili i forti muscoli masticatori. In epoca interglaciale, dall’Africa l’*homo erectus* si diresse verso nord, diffondendosi in Asia ed Europa, incominciando dunque a vivere anche in zone temperate o piuttosto fredde.

In concomitanza alla presenza del fuoco nell’ambiente, l’uomo dovette scontrarsi con i prodotti della combustione che produceva la legna bruciata che saturavano rapidamente l’in-

terno dell'abitazione rendendo tossica e invisibile l'aria circostante. Con il passare dei millenni ecco che l'intuitiva predisposizione dei fumi nel loro movimento ascensionale, portò dapprima alla realizzazione di aperture nella parte più alta dell'ambiente dalle quali potesse fuoriuscire il fumo.

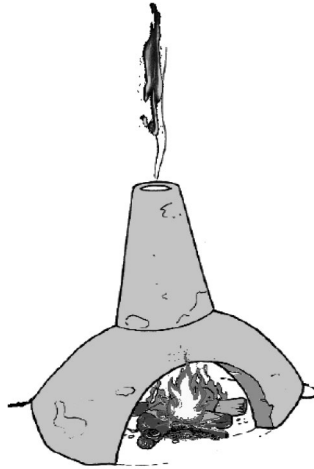


Figura 1.3.

### 1.1.3. *Il camino nei tempi moderni*

È difficile dire se la storia dell'addomesticamento del fuoco preceda o segua quella dell'abitazione. Potrebbe trattarsi di un classico caso di precedenza tra uovo e gallina. Di certo la capacità di racchiudere il fuoco entro confini sicuri è stata condizione necessaria al suo uso. Cucinare e scaldare sono le attività domestiche che hanno segnato i primi passi verso la civiltà. Non ne notiamo l'importanza se non quando ci allontaniamo da casa per trovarci in un'altra parte del mondo. Allora facciamo subito caso alla qualità del cibo e alla temperatura dei locali.

Prima che il XXIX secolo affidasse queste tre funzioni ad applicazioni diverse e specifiche, il fuoco si era incaricato per millenni di assolvere tali compiti, non senza produrre qualche disagio, qualche danno collaterale, talvolta non secondario. Nell'antichità romana il focolare fu ancorato alle pratiche religiose sia a livello domestico che urbano. Durante l'età moderna (sec. XVI-XVII), vengono messi in pratica gli accorgimenti utili ad evitare i due svantaggi principali di questa primordiale fonte di energia e cioè l'incendio e il fumo. Durante il Medioevo la gran parte delle città, soprattutto nel Nord Europa, erano costituite da case in legno dotate di tetto in paglia. Esempi di incendi, come quello di Londra del 1189 che devastarono la città erano abbastanza frequenti.

I casi non registrati dalla storia di villaggi rurali che subivano la stessa sorte erano verosimilmente molto più numerosi. Tra le cause principali di questi disastri troviamo proprio il focolare centrale con apertura nel tetto. La prima mossa verso una maggiore sicurezza è legata al cambiamento nell'uso dei materiali di costruzione: l'adozione della pietra e del mattone, l'intonacatura dei tetti in paglia, l'uso delle tegole.

Queste modifiche fondamentali dell'edilizia urbana pongono le condizioni per la svolta verso la sicurezza: il fuoco viene trasferito dal centro del locale principale dell'abitazione allato, contro una delle pareti, e dotato di *canna fumaria*.

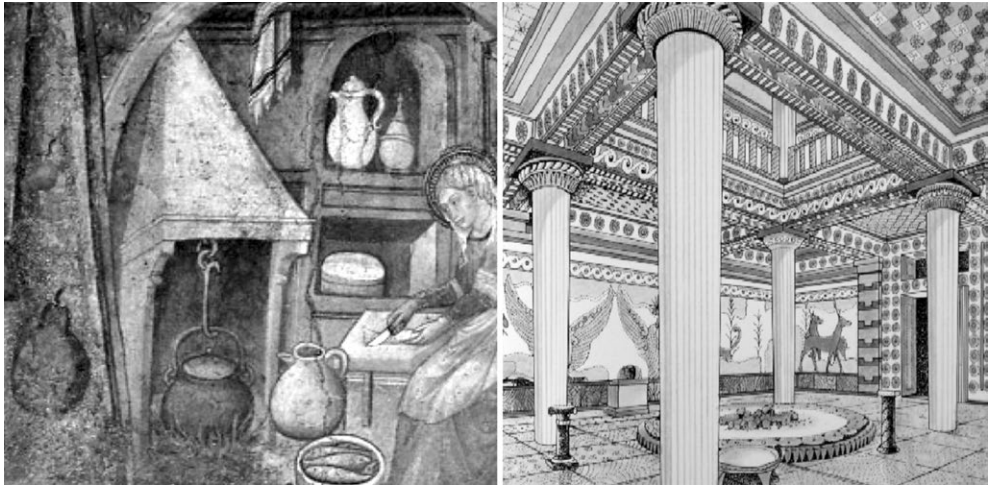


Figura 1.4.

La transizione dal focolare centrale al camino a parete inizia nel XIV secolo ma è solo nel XVI secolo che il problema principale diventa una questione di efficienza. Sono due infatti le questioni da affrontare: il fumo nei locali e la diffusione del calore che non è più omogenea ma localizzata ad un lato della stanza. In altre parole la conservazione e la diffusione del calore insieme all'espulsione del fumo rimangono, praticamente fino all'era della caldaia, i problemi che muovono le menti degli inventori verso nuove soluzioni. Con la seconda mossa si passa dalla cappa completamente aggettante dalla parete, al camino per metà inserito nel muro. Poi la ricerca si sposta sul rapporto tra la bocca del camino e l'altezza della canna fumaria. È un colono americano, forse il più eminente uomo politico del suo tempo, Benjamin Franklin a scrivere un primo trattato pubblicato agli atti della Società filosofica americana intorno a questo tema.

Il poliedrico Franklin inventa anche una stufa-caminetto che prende il suo nome. Costruita in ferro, è il primo esempio di caminetto prefabbricato, economico e prodotto in serie. Il grande salto nei consumi energetici è avvenuto in coincidenza con un'altra rivoluzione, non meno importante di quella neolitica. Questa nuova rivoluzione fu determinata dall'invenzione della macchina a vapore, che consentì di sfruttare sistematicamente e su larga scala l'energia prodotta dalla combustione di una fonte non rinnovabile: il carbone. La macchina a vapore divenne il vero emblema della rivoluzione in corso, perché con essa si usava per la prima volta sistematicamente il calore per produrre energia meccanica e perché la sua introduzione nelle fabbriche costituiva la caratteristica principale l'atto di nascita del moderno modo di produzione. Al camino, delle macchine a vapore, venne attribuito il "merito" del funzionamento delle loro camere di combustione che grazie alla depressione generata dall'effetto camino della ciminiera, rendeva possibile la combustione.



**Figura 1.5.**

Agli inizi del 1900 la ciminiera rappresentò l'industria moderna. L'effetto camino, diventa un motore indispensabile nelle combustioni, alle quali consente di avere a disposizione del tiraggio un vero e proprio ventilatore che ne aspira i fumi. Vennero realizzate un gran numero di ciminiere tanto che ancora oggi rappresentano il simbolo dell'industria. Le ciminiere avevano una conformazione statica tale per cui la struttura avesse un buon comportamento all'azione del vento, avere una sezione idraulicamente sufficiente per evacuare il volume dei fumi prodotti dal combustore ad esse asservito, avere un'altezza sufficiente affinché, la dispersione dei fumi in atmosfera ricadesse ad una distanza che consentisse una diluizione tale da non suscitare eccessivo disturbo e soprattutto, capace di generare un tiraggio (che in buona parte dipende dall'altezza) che attivasse con efficacia il ciclo termodinamico.

Nell'ultimo ventennio gli impianti fumari sono costruiti con materiali sempre più innovativi e tecnologici per soddisfare le caratteristiche dei fumi che per motivi di risparmio energetico sono sempre più freddi e di conseguenza con condense molto acide. Da questa breve analisi storica, si evince come il sistema fumario è stato sempre in continua evoluzione non cambiando mai però il suo principale compito: evacuare all'esterno i prodotti della combustione.

## **1.2. La combustione**

Combustione-aerazione-evacuazione rappresentano tre fenomeni fisico-chimici ben precisi e ben distinti tra loro, eppure intimamente legati ed inscindibili, tanto che il difettoso funzionamento di uno qualunque di essi provoca un malfunzionamento degli altri due. Pertanto anche se gli argomenti che vogliamo trattare in questa parte sono tre e tutti importanti alla fine diventano un solo argomento in quanto, come si è detto, sono espressamente legati l'uno con l'altro ed indipendenti. Immaginiamo quindi l'aria che entra nel locale tramite l'apertura di aerazione, entra nella camera di combustione della caldaia, esce da questa prendendo il

nome di “fumo” ed infine, tramite la canna fumaria, va a disperdersi in atmosfera: ecco le successioni che ognuno deve aver presente e deve fare in modo che si svolgano sempre in perfetta sintonia. Ripetiamo: aerazione, combustione ed evacuazione, sono in funzione una dell'altra, sono tre situazioni o se si preferisce, tre anelli di una catena che non può e non deve essere spezzata.

Nella pratica anche se una caldaia è perfettamente regolata nella sua combustione ed è installata a regola d'arte, ma non si è provveduto a fornire la necessaria aerazione al locale in oggetto, il funzionamento della stessa risulta difettoso: bassi rendimenti di combustione, pericoli di formazione di ossido di carbonio in ambiente, alte emissioni inquinanti in atmosfera, difficoltà nel tiraggio della canna fumaria con probabili reflussi di gas della combustione, maggiori quantità di condense acide lungo i condotti fumari possono nel tempo provocare seri danni sia alle strutture edili che allo scambiatore della caldaia, con seri pericoli di intasamento dello stesso e di insufficiente smaltimento dei fumi in atmosfera.

Problemi simili si possono avere, come già detto, con una errata regolazione del bruciatore, ma più spesso si notano seri problemi quando si va ad analizzare il discorso dell'evacuazione dei gas combusti e più precisamente le canne fumarie ed i loro condotti. Non basta avere un'adeguata aerazione dell'ambiente ed una perfetta regolazione (aria-gas) di combustione se poi la canna fumaria non è adatta al tipo di impianto in esame, ritorneremo da capo con i soliti problemi.

Ricordiamoci che il camino è il motore di processo dell'intero sistema: un camino sottodimensionato, sovradimensionato o comunque non idoneo, male installato e di qualità scadente, va ad interferire negativamente nel ciclo di funzionamento dell'impianto in esame, quando anche non provochi situazioni di pericolo. Ad ogni buon conto, prima ancora di entrare nel merito delle canne fumarie e di approfondire tale argomento (installazione e dimensionamento), vedremo di analizzare in modo essenziale ma esauriente, la combustione e l'aerazione.

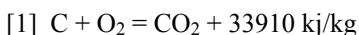
La combustione è una reazione chimica esotermica (con sviluppo di calore) fra un combustibile ed un comburente (l'ossigeno). Da questa reazione si sviluppano nuovi componenti, i gas di combustione. Affinché si possa parlare di combustione e quindi della possibilità che questa si verifichi, occorre l'esistenza di tre condizioni essenziali:

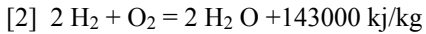
- 1) presenza di combustibile;
- 2) presenza di comburente;
- 3) raggiungimento della temperatura di accensione.

Se una delle tre condizioni non si verifica la combustione non è possibile. La combustione è possibile ma incompleta quando i tre fattori della combustione sono presenti ma inadeguati. Per quanto concerne i combustibili tradizionali, questi sono essenzialmente composti di carbonio (C) ed idrogeno (H) zolfo (S) la cui combustione produce rispettivamente anidride carbonica  $\text{CO}_2$ , vapore acqueo  $\text{H}_2\text{O}$ , anidride solforosa  $\text{SO}_2$ , oltre ovviamente calore. La conoscenza del fenomeno e quindi la relativa ottimizzazione ha un'enorme importanza sia in termini di risparmio energetico che ecologico, per l'inquinamento atmosferico prodotto dai fumi.

### 1.3. Stechiometria della combustione

Le reazioni di combustione sono le seguenti:





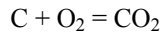
Il carbonio per difetto d'ossigeno dà luogo alla seguente reazione con formazione di monossido di carbonio, velenoso per l'uomo:



I pesi atomici delle sostanze sono:

$$\text{C} = 12 \quad \text{O} = 16 \quad \text{N} = 14 \quad \text{S} = 32 \quad \text{H} = 1$$

Nella reazione [1] intervengono le seguenti masse, scritte sotto i relativi componenti:

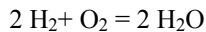


pesi sostanze: 12 (carbonio) + 32 (ossigeno) = 44 (anidride carbonica).

L'ossigeno necessario per bruciare 1 kg di carbonio è 32/12 kg, mentre la CO<sub>2</sub> prodotta dalla combustione di un kg di carbonio è 44/12 kg. Poiché il rapporto fra aria ed ossigeno nell'atmosfera è, in peso, 4,31, l'aria necessaria per bruciare 1 kg di carbonio è:

$$4,31 \times 32 / 12 = 11,493 \text{ kg}$$

Analogamente nella reazione [2] intervengono le seguenti masse:

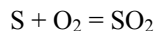


pesi delle sostanze: 4 (idrogeno) + 32 (ossigeno) = 36 (vapor d'acqua).

L'ossigeno necessario per bruciare 1 kg di idrogeno è 32/4 kg, mentre la H<sub>2</sub>O prodotta dalla combustione di un kg di idrogeno è 36/4 kg. L'aria necessaria per bruciare 1 kg di idrogeno è:

$$4,31 \times 32 / 4 = 34,48 \text{ kg}$$

Analogamente nella reazione [3]:



pesi delle sostanze: 32 (zolfo) + 32 (ossigeno) = 64 (anidride solforosa)

L'ossigeno necessario per bruciare 1 kg di zolfo è 32/32 kg, mentre la SO<sub>2</sub> prodotta dalla combustione di un kg di zolfo è 64/32 kg. L'aria necessaria per bruciare 1 kg di zolfo è quindi:

$$4,31 \times 32 / 32 = 4,31 \text{ kg}$$

Chiamando C%, H%, S%, Ocomb% le parti in peso in un kg di combustibile dei relativi componenti, si può scrivere che l'ossigeno teorico è:

$$[5] \quad \text{Oteorico} = 2,667 \times \text{C}\% + 8 \times \text{H}\% + \text{S}\% - \text{Ocomb}\%$$

indicando con Ocomb% l'ossigeno già contenuto nel combustibile e che si pensa intervenga nella reazione. Per ossigeno teorico si intende quello derivante dalle relazioni stechiometriche.

L'aria teorica è quindi:

$$\text{ARIA teorica} = 4,31 \times \text{Oteorico}$$

Il peso dei fumi teorici (PFT) è:

$$\text{PFT} = \text{Aria teorica} + 1 - \text{ceneri}$$

Si intende per ceneri le sostanze minerali che permangono nel focolare. Nella figura 1.1 viene riportato il volume dei fumi al variare dell'eccesso d'aria per il metano (riferito ad un kg di sostanza combustibile). Si ricorda che il volume dei gas può essere ricavato a partire dalla massa con l'equazione di stato:

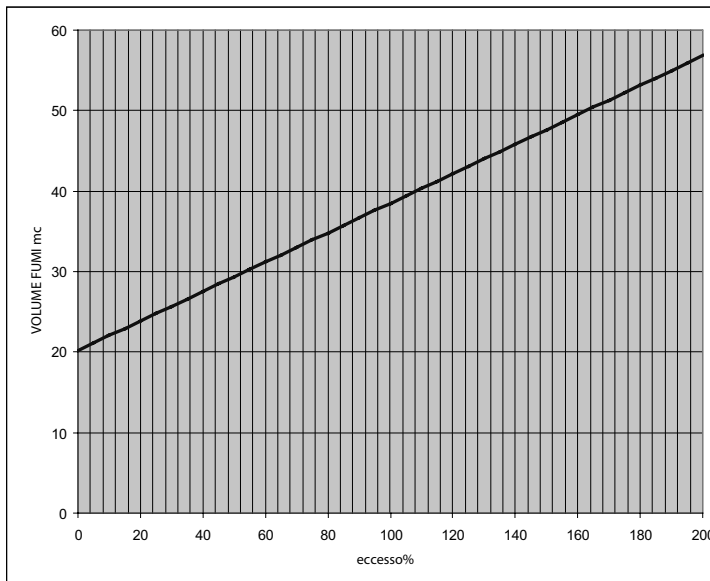
$$V = M \times R \times T / P$$

dove:

- R è la costante del gas [J/(kg K)];
- M è la massa in kg;
- P è la pressione del gas (pascal);
- T è la temperatura assoluta = temperatura in gradi centigradi + 273.

Ad esempio per l'aria a pressione atmosferica ( $P = 101335 \text{ Pa}$ ) e temperatura ambiente ( $15 \text{ }^\circ\text{C}$ ), essendo  $R = 287 \text{ J/kg K}$ , si ha:

$$V = M \times 287 \times 288 / 101337 = 0,816 \text{ m}^3$$



**Figura 1.6.** Volume dei fumi in funzione dell'eccesso d'aria percentuale a  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  (metano)

#### 1.4. L'eccesso d'aria

La combustione avviene quando il combustibile è allo stato gassoso. Il bruciatore di combustibile liquido provvede pertanto alla nebulizzazione, a ridurre cioè il combustibile a particelle piccolissime; la particella trovandosi in camera di combustione, e quindi in un ambiente ad alta temperatura, evapora. Se nel tempo di permanenza in camera di combustione la molecola di combustibile non "incontra" quella dell'ossigeno la reazione di combustione non avviene, con conseguente perdita di energia, e la cosiddetta formazione di incombusti.



L'aria teorica dipende dalla natura del combustibile relativo, ed è un limite inferiore teorico della quantità d'aria effettivamente necessaria per la combustione completa. In realtà affinché la combustione avvenga in modo completo, ossia tutto il combustibile si combini con il comburente, occorre che l'aria sia in eccesso rispetto a quella teorica.

L'eccesso d'aria di solito è piccolo in presenza di combustibili gassosi, in cui il mescolamento fra l'aria ed il combustibile è a livello molecolare, mentre sale con combustibili liquidi nebulizzati o solidi polverizzati in modo molto fine, per arrivare a valori notevolmente elevati con combustibili solidi di grossa pezzatura.

Si è già visto che il carbonio in difetto d'aria può reagire con l'ossigeno formando monossido di carbonio, con conseguente minor sviluppo di calore. Per far sì che la combustione avvenga in modo completo si aumenta l'aria rispetto a quella stechiometrica, e si chiama eccesso d'aria:

$$e = (A_p - A_t) / A_t$$

Si intende quindi che, quando eccesso d'aria uguale a zero, l'aria è uguale a quella teorica. Per aria pratica,  $A_p$ , si intende quella effettivamente partecipante alla combustione. La maggiorazione di aria fa sì che tutto il combustibile bruci, annullando o quasi la formazione di incombusti.

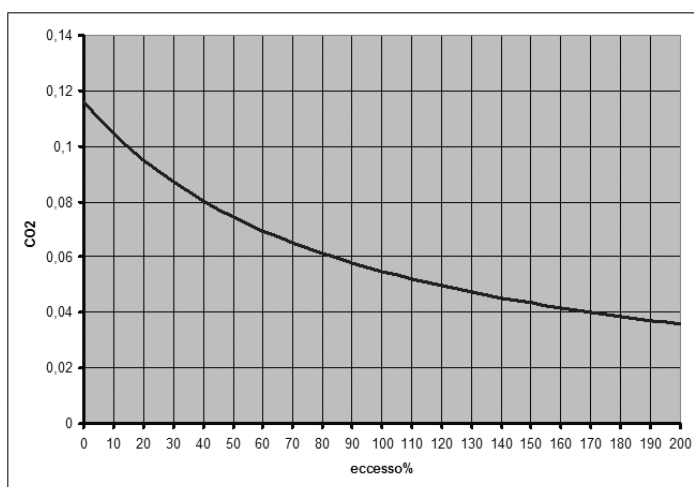
Oltre che l'eccesso d'aria viene anche definito l'indice d'aria  $\lambda$  come:

$$\lambda = A_p / A_t$$

fra l'eccesso d'aria e l'indice d'aria c'è la relazione:

$$e = \lambda - 1$$

Nella figura 1.7 viene riportato la  $CO_2$  in volume nei fumi secchi (senza vapor d'acqua). La misura di queste grandezze, effettuata dagli analizzatori di combustione, è importante perché correla l'eccesso d'aria al rendimento della combustione.



**Figura 1.7.**  $CO_2$  in volume nei fumi secchi in funzione dell'eccesso d'aria (gas naturale)

È evidente che all'aumentare dell'eccesso d'aria, restando costante il volume di CO<sub>2</sub>, la percentuale di CO<sub>2</sub> nei fumi diminuisce.

Può essere interessante rilevare che i prodotti della combustione (fumi) sono composti da anidride carbonica che è praticamente incolore e inodore (anche se asfissiante per la mancanza di ossigeno) e da vapore acqueo, che a volte rende visibile tale fumo, in particolare nelle giornate fredde.

Pertanto credere che il fumo prodotto dalla combustione dei gas non sia nocivo solo perché, al contrario dei fumi dei combustibili solidi e liquidi, non è nero, non sporca ed è poco visibile, è completamente sbagliato.

Anche bruciando del gas occorre sempre e comunque l'installazione di un valido condotto di evacuazione (camino), anche se vi sono sostanziali differenze di composizione rispetto ai fumi di altri combustibili: come la maggiore produzione di vapore acqueo e la minor temperatura dei fumi stessi, fattori questi che comportano altre e ulteriori valutazioni da tenere in debita considerazione.

Combustibile	Bacharach	CO ppm nei fumi secchi	Valore max CO <sub>2</sub> nei fumi secchi in%	Valori tipici CO <sub>2</sub> in%	Temperatura fumi °C
Gas naturale	0	80	11,7	9,7-10,5	100-130
GPL	0	80	13,9	11,5-12,8	100-130
Gasolio	0-1	140	15,1	12-14	140-160
Olio btz	2-4	140	15,7	12-13	140-160

**Tabella 1.1.** Dati caratteristici dei combustibili, ppm = parti per milione

Combustibile	Massa volumica kg/m <sup>3</sup>	Densità relativa all'aria	PCI	PCS	Infiammabilità	
					Limite inferiore %	Limite superiore %
Metano	0,717	0,54	35860 MJ / m <sup>3</sup> = 10 kWh	39830 MJ	5	15
Propano	2,19	1,561	92840 MJ = 25,78 kWh	100920	2	8,5
Gasolio	0,88		11,92 kWh	12,7		
Butano	2,703	2,909	122220 MJ = 33,95 kWh	132450	1,5	8,5
Miscela propano 30% Butano 70%	2,55	2,5	113400 MJ = 31,5 kWh	122990	1,75	8,5
Cippato umidità 30%			3,43 kWh	4,13		
Legna umidità 20%			4 kWh	4,72		
Pellets umidità 10%			4,65 kWh			

**Tabella 1.2.** Dati caratteristici dei combustibili