

Canne fumarie collettive e camini a tiraggio naturale per apparecchi a gas di tipo C con ventilatore nel circuito di combustione Progettazione e verifica

Descrittori: canna fumaria collettiva, camino, comignolo, tiraggio naturale, progettazione, calcolo, verifica.

Classificazione ICS: 91.060.40

Sommario: la norma prescrive i criteri per la progettazione e verifica delle dimensioni interne delle canne fumarie collettive e dei camini singoli a tiraggio naturale per apparecchi di tipo C muniti di ventilatore nel circuito di combustione ai fini della sicurezza nell'evacuazione dei prodotti della combustione.

Organo competente: CIG - Comitato Italiano Gas
CTI - Comitato Termotecnico Italiano

Ratifica: Presidente dell'UNI, delibera del 21 maggio 1997

1 Scopo e campo di applicazione

La presente norma fissa i criteri per la progettazione e la verifica delle dimensioni interne delle canne fumarie collettive e dei camini singoli a tiraggio naturale per apparecchi a gas di tipo C muniti di ventilatore nel circuito di combustione ai fini della sicurezza nell'evacuazione dei prodotti della combustione. Oltre che alle canne fumarie collettive e ai camini singoli a tiraggio naturale essa si applica alle canne fumarie multiple combinate che oltre ad evacuare i fumi dispongono anche di un condotto per l'afflusso dell'aria comburente agli apparecchi a gas di tipo C di qualunque portata termica.

2 Riferimenti normativi

UNI 7128: Impianti a gas per uso domestico alimentati da rete di distribuzione - Termini e definizioni.
UNI 7129: Impianti a gas per uso domestico alimentati da rete di distribuzione - Progettazione, installazione e manutenzione.
UNI 9615-1: Calcolo della dimensioni interne dei camini - Definizioni, procedimenti di calcolo fondamentali.
UNI 9731: Camini - Classificazione in base alla resistenza termica - Misure e prove.
UNI 9893: Caldaie ad acqua funzionanti a gas corredate di bruciatore atmosferico con ventilatore nel circuito di combustione - Prescrizioni di sicurezza.

3 Termini e definizioni

Ai fini della presente norma valgono le definizioni riportate di seguito; per quanto riguarda le definizioni di carattere generale, inerenti l'argomento, si rimanda alle UNI 7128 e UNI 7129.

3.1 Altezza del tratto terminale: Differenza di quota tra la sezione di ingresso dei fumi dell'apparecchio posto più in alto nel condotto dei fumi e la bocca del camino/canna fumaria.

3.2 Apertura di compensazione: Apertura di una canna collettiva diretta verso l'ambiente esterno o collegata allo stesso tramite un condotto di sezione pari a quella dell'apertura stessa.

3.3 Apparecchio di tipo C con ventilatore nel circuito di combustione: Vedere UNI 7129, appendice B. Per comodità nel prosieguo della presente norma viene denominato semplicemente "apparecchio".

3.4 Aria di compensazione: Portata in massa di aria aspirata attraverso l'eventuale apertura o condotto di compensazione per effetto del tiraggio effettivo in quel punto.

3.5 Bocca del camino/canna fumaria: Sezione di sbocco dei fumi nel comignolo o, in sua mancanza, in atmosfera.

3.6 Camino: Condotto verticale, avente lo scopo di disperdere, a conveniente altezza dal suolo, i prodotti della combustione provenienti da un solo apparecchio.

3.7 Camino combinato: Camino costituito da 2 condotti separati dei quali uno serve a convogliare l'aria comburente ad un solo apparecchio ed il secondo a raccogliere ed espellere i prodotti della combustione dello stesso apparecchio. I condotti possono essere coassiali, adiacenti oppure separati.

3.8 Canale combinato aria/fumi (canale d'aria/fumi): insieme delle canalizzazioni atte a convogliare l'aria comburente agli apparecchi ed i prodotti della combustione al camino/canna fumaria. Le canalizzazioni possono essere coassiali, adiacenti oppure separate e collegate attraverso gli apparecchi.

3.9 Canale da fumo: condotto di raccordo posto tra l'uscita dei fumi dall'apparecchio ed il camino/canna fumaria.

3.10 Canale d'aria: canale atto a convogliare l'aria comburente all'apparecchio direttamente dall'esterno o dal condotto aria.

3.11 Canna fumaria collettiva (canna collettiva): condotto fumi unico adatto a raccogliere ed espellere i prodotti della combustione di più apparecchi collocati su diversi piani.

3.12 Canna fumaria collettiva combinata (canna combinata): canna costituita da 2 condotti distinti, il primo dei quali serve a convogliare l'aria comburente agli apparecchi collocati su diversi piani ed il secondo a raccogliere ed espellere i prodotti della combustione degli stessi. I condotti possono essere coassiali, adiacenti oppure separati.

3.13 Carico termico di un apparecchio: rapporto tra la portata termica di funzionamento e la portata termica nominale.

3.14 Comignolo (aspiratore statico o mitria): dispositivo che, posto alla bocca del camino/canna fumaria, permette la dispersione dei prodotti della combustione anche in presenza di avverse condizioni atmosferiche.

3.15 Condensa: prodotto liquido che appare in qualche punto del camino/canna fumaria o del canale d'aria/fumi generalmente sulla parete interna quando la temperatura superficiale risulta minore o uguale al punto di rugiada.

3.16 Condotto aria/fumi: condotto prevalentemente verticale atto a convogliare l'aria comburente o i fumi, rispettivamente.

3.17 Condotto di compensazione: apertura o condotto di collegamento tra il condotto aria e il condotto fumi in una canna combinata.

3.18 Diametro idraulico (diametro equivalente): diametro del cerchio avente lo stesso rapporto tra area e perimetro della sezione considerata.

3.19 Eccesso d'aria (e): rapporto tra la quantità d'aria utilizzata per la combustione meno la quantità d'aria stechiometrica e l'aria stechiometrica stessa.

3.20 Fumi: insieme dei prodotti della combustione di un gas e dell'eventuale aria di compensazione convogliati in un camino/canna fumaria.

3.21 Funzionamento a secco: condizioni in cui la temperatura, in ogni punto della parete interna del camino/canna fumaria, nel funzionamento normale è maggiore del punto di rugiada.

3.22 Funzionamento ad umido: condizioni in cui la temperatura, in qualche punto della parete interna del camino/canna fumaria, nel funzionamento normale è minore del punto di rugiada dei fumi.

3.23 Parete interna del camino/canna fumaria: parete a contatto con i fumi.

3.24 Portata termica (potenza termica del focolare): prodotto del potere calorifico inferiore del combustibile impiegato e della portata di gas bruciato, riferiti alle stesse condizioni.

3.25 Portata termica nominale (potenza termica nominale del focolare): valore della portata termica dichiarata dal costruttore dell'apparecchio.

3.26 Portata massima dei fumi: massa dei fumi da scaricare nell'unità di tempo.

3.27 Potenza termica nominale (potenza termica utile): potenza continua dell'apparecchio dichiarata dal costruttore.

3.28 Pressione effettiva nel camino/canna fumaria (tiraggio effettivo): differenza di pressione, alla medesima quota, tra esterno e interno del camino/canna fumaria. È determinata dalla pressione statica alla stessa quota diminuita della variazione di pressione per resistenze al moto nel camino.

3.29 Pressione statica (tiraggio statico): differenza di pressione che si genera, in condizioni statiche, a causa della differenza di massa volumica tra due colonne, rispettivamente di aria esterna e di fumi, aventi la stessa altezza.

3.30 Quota di sbocco: quota corrispondente alla sommità del camino/canna fumaria, indipendentemente dal comignolo.

3.31 Rendimento: rapporto tra la potenza termica e la portata termica per un certo carico termico dell'apparecchio.

3.32 *Resistenza termica di parete di un camino/canna fumaria*: resistenza alla dispersione del calore attraverso la o le pareti del camino/canna fumaria.

3.33 *Sezioni idraulicamente equivalenti*: sezioni che hanno lo stesso diametro idraulico.

3.34 *Stato di carico dell'impianto*: insieme dei valori del carico termico di ogni apparecchio.

3.35 *Tipo di sezione*: forma della sezione del camino/canna fumaria e/o dei canali da fumo/canali d'aria.

3.36 *Tiraggio naturale*: tiraggio che si determina in un camino/canna fumaria per effetto della differenza di massa volumica esistente tra i fumi (caldi) e l'aria atmosferica circostante, senza nessun ausilio meccanico di aspirazione installato al suo interno o alla sommità.

4 Simboli, grandezze e unità di misura

Grandezza	Simbolo	Unità di misura
Area della sezione	A	m ²
Coefficiente di direzione	B	K
Capacità termica massima	c	J/(kg K)
Diametro, diametro idraulico	D, D _h	m
Variazione del valore di pressione tra due iterazioni successive	EP	Pa
Coefficiente di velocità minima	f _w	m ^{1/2} /s
Accelerazione di gravità	g	m/s ²
Altezza	H	m
Altezza geodetica	HG	m
Potere calorifico	H _i	J/kg
Coefficiente globale di scambio termico	k	W/(m ² K)
Fattore di raffreddamento dei fumi	KR	-
Lunghezza	L	m
Portata massima	M	kg/s
Viscosità dinamica	Mu	Pa s
Numero piani dello stabile	np	-
Numero di strati costituenti la parete	nS	-
Portata termica	N	kW
Numero di Nusselt	Nu	-
Pressione, perdita di carico	P	Pa
Rugosità media	r	m
Costante universale dei gas	R0	J/(kg K)
Costante dei gas	R	J/(kg K)
Numero di Reynolds	Re	-
Rapporto tra perimetri	RS	-
Resistenza termica	RT	(m ² K)/W
Fattore di sicurezza fluidodinamico	SE	-
Fattore di correzione per temperatura non costante	SH	-
Temperatura	T	K
Temperatura di progetto	TP	K
Perimetro della sezione	U	m
Velocità	W	m/s
Coefficiente liminare	α	W/(m ² K)
Differenza di pressione	ΔP	Pa
Rendimento	η	-
Conduttività termica	λ	W/(m K)
Coefficiente di perdita localizzata	ξ	-
Massa volumica	ρ	kg/m ³
Fattore di attrito	ψ	-
Frazione di superficie perimetrale esposta all'esterno	ω	-

Pedici

a = aria	max = massimo
A = ambiente esterno	min = minimo
c = combustione	n = indice generico
C = canale da fumo	N = al focolare
D = apertura/condotto	° = grandezza riferita a condizioni normalizzate (p = 1 013,25 mbar, t= 15 °C)
e = esterno	p = a pressione costante
f = dei fumi	P = condotto fumi
g = globale	q = comignolo
G = apparecchio	r = effettivo
H = strato H-esimo	R = di rugiada di compensazione
i = interno	s = statica
I = ingresso	t = totale
j = indice del piano	u = tratto terminale
k = costituente k - esimo	U = uscita
m = medio	W = variazione di velocità

5 Caratteristiche generali

Le canne fumarie collettive, oggetto della presente norma, costituiscono un "sistema unico" per l'evacuazione dei fumi provenienti da più apparecchi ad essi collegati. Eventuali sostituzioni di apparecchi, di componenti e/o modifica del sistema possono alterare le condizioni di funzionamento e comportare pericoli per gli utenti del sistema stesso.

Nota: Il regolamento condominiale dovrebbe individuare una figura responsabile (per esempio l'amministratore o una figura tecnica da esso indicata) cui far riferimento per tutte le operazioni di manutenzione e/o modifica del sistema in modo tale che siano mantenute condizioni progettuali secondo quanto stabilito dalla presente norma.

I camini e le canne fumarie devono avere le seguenti caratteristiche:

- essere dimensionati/e secondo il metodo di calcolo appresso descritto;
- essere a tenuta dei prodotti della combustione e resistenti ai fumi e al calore;
- essere impermeabili alle condense. Gli elementi costituenti i camini/canne fumarie non devono consentire l'infiltrazione delle eventuali condense negli elementi stessi o attraverso di essi. I raccordi, le giunzioni dei moduli e gli imbrocchi dei canali da fumo devono essere realizzati in modo tale che le eventuali condense defluiscano liberamente alla base senza filtrazioni nella struttura o nel canale da fumi (vedere 5.1);

Nota: Nel caso in cui sia previsto il funzionamento a umido i materiali devono essere idonei e lo scarico delle condense in accordo con quanto previsto dalle normative e leggi vigenti;

- essere realizzati/e ed installati/e in modo tale che in caso di rotture, danneggiamenti o ostruzioni del condotto sia impedito il trafilemento dei fumi verso i locali adiacenti;
- avere i condotti che convogliano i fumi caldi adeguatamente distanziati (o isolati) da materiali combustibili; particolare attenzione deve essere posta nei confronti di attraversamenti di locali o zone con presenza di sostanze facilmente infiammabili;
- avere sezione circolare o quadrangolare; in quest'ultimo caso gli angoli devono essere arrotondati con raggio non inferiore a 20 mm. Sezioni idraulicamente equivalenti possono essere utilizzate perché il rapporto tra il lato maggiore ed il lato minore del rettangolo, che circonda la sezione stessa non sia comunque maggiore di 1,5;
- essere allacciati ad un solo apparecchio per piano;
- avere un numero di apparecchi collegati rapportato alla loro effettiva capacità di evacuazione, determinata secondo quanto previsto nella presente norma. Comunque ad una canna fumaria possono essere collegati al massimo:

- a) n.8 apparecchi nel caso in cui sia prevista la presenza di un'apertura o condotto di compensazione,
- b) n.6 apparecchi nel caso in cui non sia prevista nessuna apertura o condotto di compensazione;

- avere andamento verticale ed essere privi/e di qualsiasi strozzatura. Sono ammessi non più di due cambiamenti di direzione perché l'angolo di incidenza con la verticale non sia maggiore di 30°;
- avere l'eventuale apertura o il condotto di compensazione praticato al di sopra della camera di raccolta, comunque ad una quota non minore di 0,5 m. dal fondo del condotto;
- nel caso di canna collettiva, avere l'eventuale apertura di compensazione disposta verso l'esterno o collegata ad esso tramite un condotto, non ostruibile in alcun modo, protetta da una griglia a maglie fitte in modo da garantire comunque una sezione utile in grado di consentire l'ingresso di una portata almeno pari a 1/5 della portata nominale di un apparecchio;
- avere, alla base, una camera di raccolta di materiali solidi o eventuali condense di altezza pari almeno a 0,5 m. L'accesso a detta camera deve essere garantito mediante un'apertura dotata di sportello metallico di chiusura a tenuta d'aria;
- nel caso in cui non sia dotato di comignolo, avere, in prossimità della base, un sistema di raccolta e smaltimento dell'eventuale acqua piovana e/o neve;
- avere, alla base e nel tratto terminale del condotto di evacuazione fumi in posizione facilmente accessibile, un foro per il rilievo della pressione e della temperatura interne;
- essere in depressione, per tutto lo sviluppo, in condizione di funzionamento stazionario;
- se dotati/e alla sommità di un comignolo, avere sezione utile di uscita di questo almeno doppia di quella del camino/canna fumaria su cui è inserito. Nei casi in cui non sia previsto il comignolo si devono adottare accorgimenti (per esempio tramite il tracciamento di scanalature sulla parete interna o la creazione di una gronda in corrispondenza dell'immissione del canale da fumo) affinché gli agenti atmosferici non penetrino negli apparecchi e, se presente, nel condotto dell'aria;
- essere dotati/e, nel tratto terminale, di una bocca d'ispezione di facile accesso che consenta il controllo e la manutenzione dei condotti oppure essere conformati/e in modo tale che tali operazioni possano svolgersi in modo agevole;
- essere privi/e di mezzi meccanici di aspirazione posti nei condotti principali;
- avere i condotti combinati di aspirazione/scarico, se adiacenti o coassiali, stagni tra di loro, con sezioni terminali (secondo UNI 7129 punto 4.3.3) al di fuori della zona di riflusso e disposti in modo da non influenzarsi reciprocamente;
- essere raccordate con raccordi meccanici a compressione e/o saldati. Possono essere usati mastici, o leganti plastici. Sono escluse le giunzioni rivettate;
- nel caso di canne fumarie, essere dotati di un libretto, riportante le modalità di installazione d'uso e di manutenzione fornito dal costruttore, con copia del progetto allegata.
- Ai camini ed alle canne fumarie oggetto della presente norma possono essere allacciati solo apparecchi a gas di tipo C con ventilatore nel circuito di combustione. La pressione nella sezione di innesto del canale da fumo nel camino/canna fumaria non deve essere maggiore di quella atmosferica. A questo scopo, per l'applicazione della presente metodologia di calcolo devono essere utilizzati come dati soltanto quelli dichiarati dai costruttori.
- Le canne fumarie collettive e le canne fumarie combinate devono essere inoltre collegate solo con apparecchi del tipo C aventi portate termiche nominali che non differiscano di oltre il 30% in meno rispetto alla massima allacciabile e alimentati da uno stesso combustibile (per esempio metano).

5.1 Materiali

Le canne fumarie ed i camini devono essere realizzati con materiali incombustibili adatti a resistere nel tempo:

- alle normali sollecitazioni meccaniche;
- alle normali sollecitazioni termiche;
- all'azione dei prodotti della combustione secondo il tipo di funzionamento previsto.

5.2 Comignoli

Il comignolo posto alla sommità di un camino/canna fumaria deve avere le seguenti caratteristiche:

- deve facilitare la dispersione dei prodotti della combustione anche con condizioni atmosferiche diverse ed impedire la deposizione di corpi estranei (per esempio di nidi);
- sezione utile di uscita non minore del doppio di quella del camino/canna fumaria sul quale è inserito;
- conformazione tale da impedire la deposizione del camino/canna fumaria della pioggia e della neve;
- costruzione tale che venga sempre comunque assicurato lo scarico dei fumi, anche in caso di venti di ogni direzione ed inclinazione.

5.3 Quota di sbocco

Deve essere realizzata in conformità alla UNI 7129 punto 4.3.3.

6 Procedimento di calcolo - Criteri fondamentali

6.1 Configurazioni della canna fumaria

La presente procedura di calcolo si basa sull'applicazione delle equazioni di conservazione della massa e dell'energia in condizioni di regime permanente alle seguenti configurazioni particolari:

- camino/canna fumaria collettiva (figura 1);
- camino/canna fumaria collettiva combinata con condotti fumo/aria comburente separati (fig.2)
- camino/canna fumaria collettiva combinata con condotti fumo/aria comburente adiacenti (fig.3)
- camino/canna fumaria collettiva combinata con condotti fumo/aria comburente coassiali (fig.4).

Nel calcolo i camini sono considerati come caso particolare di canna fumaria collettiva a cui è collegato un solo apparecchio.

È considerata l'eventuale apertura di compensazione alla base del condotto fumo [configurazione a)] o del condotto di compensazione verso il condotto dell'aria comburente [configurazione b), c) e d)]. Nel caso in cui [configurazione a)] tale apertura non esista è considerato come caso particolare (nel calcolo della formula 8 la sezione dell'apertura deve essere posta pari a zero: $A_D = 0$).

Nota: Tale apertura ha la funzione di diluire i fumi abbassando il punto di rugiada (soprattutto nei casi in cui non tutte le caldaie siano in funzione) e di garantire delle condizioni di tiraggio simili in tutti gli stati di carico dell'impianto.

Fig. 1 - Canna fumaria collettiva
Legenda: a - Eventuale apertura di compensazione

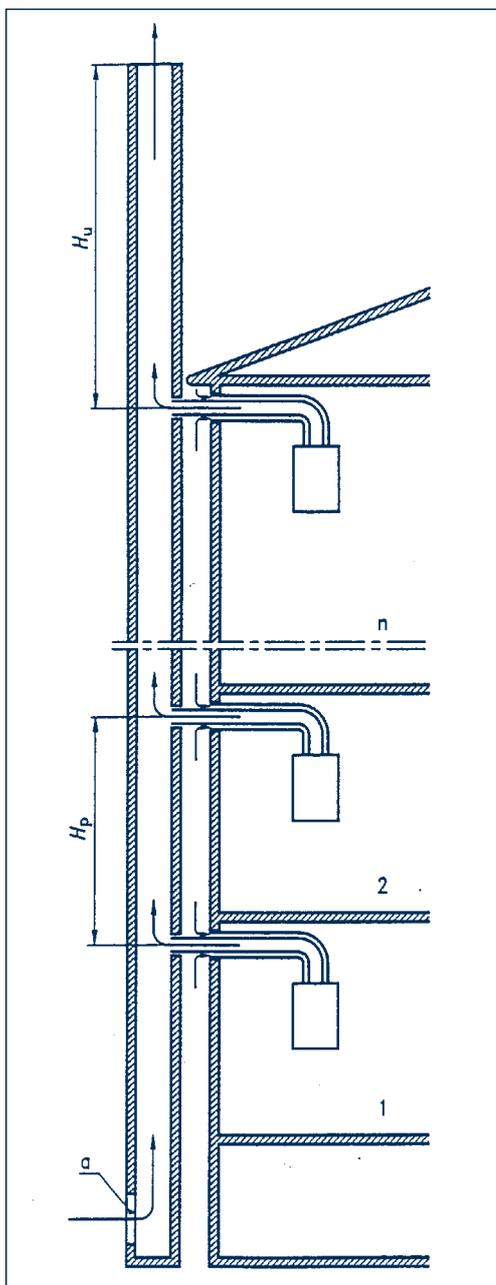
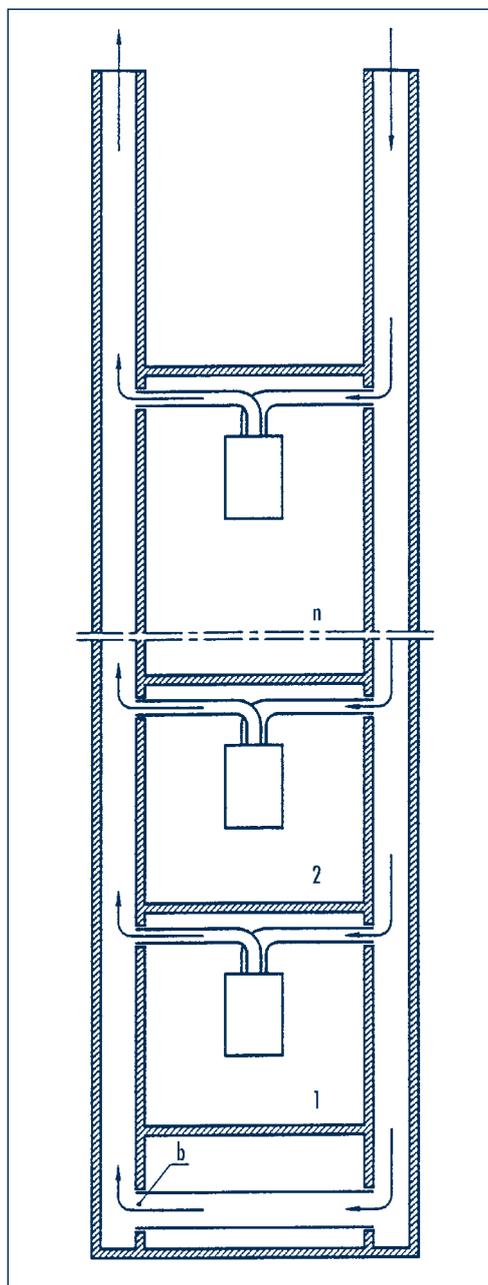


Fig. 2 - Canna fumaria collettiva combinata con condotti separati
Legenda: b - Condotto di compensazione



Inoltre in tutti e quattro i casi deve essere considerata la possibilità che anche i canali da fumo e canali d'aria, se presenti, possano essere separati o coassiali in tutta o in parte della loro lunghezza. Il procedimento è di validità generale e consente di calcolare le condizioni termofluidodinamiche che si determinano all'interno di una canna fumaria per qualsiasi stato di carico dell'impianto, date le caratteristiche ambientali dell'area in cui si trova, le grandezze geometriche e fisiche che la caratterizzano, nonché quelle degli apparecchi ad essa collegati (vedere 6.3).

Fig. 3 - Canna fumaria collettiva combinata con condotti adiacenti
Legenda: a - Condotto di compensazione

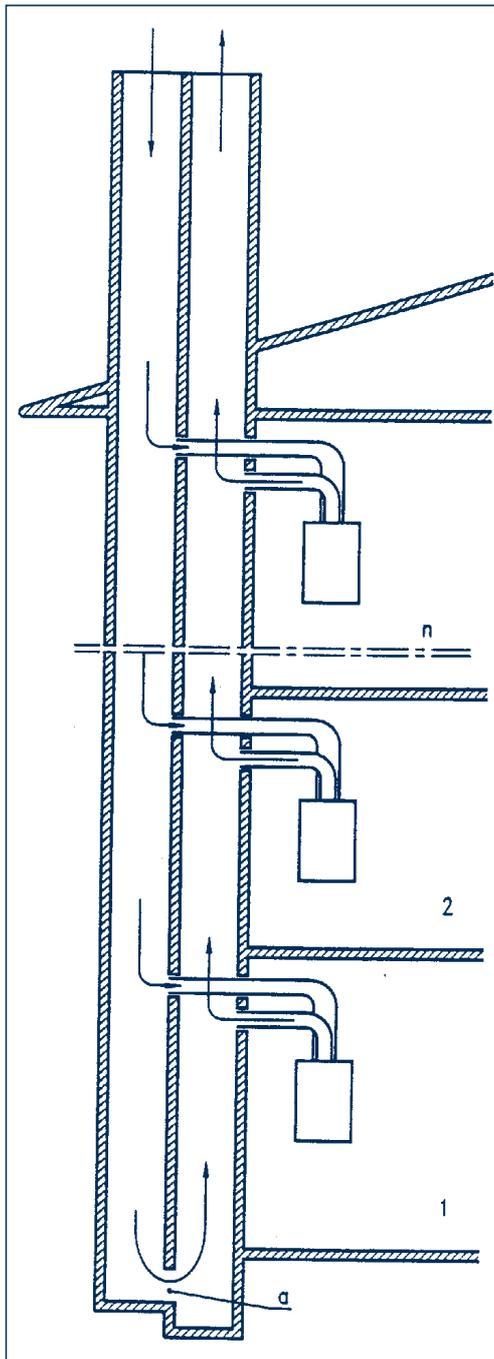
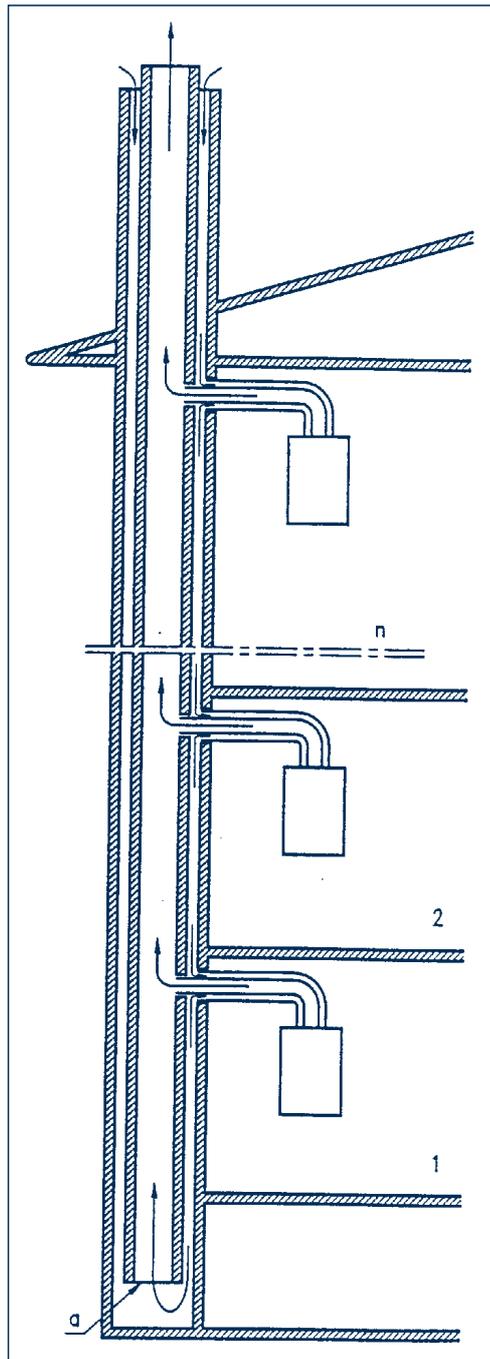


Fig. 4 - Canna fumaria collettiva combinata con condotti coassiali
Legenda: a - Condotto di compensazione



6.2 Generalità

In ogni punto di raccordo tra i vari condotti, negli imbocchi dei canali da fumo/canali d'aria immediatamente a valle/monte della caldaia, nell'apertura o condotto di compensazione e nello sbocco/imbocco in atmosfera (nodi) si ha che: dove confluiscono portate massiche di fluidi valgono le relazioni:

$$\sum M_U = \sum M_I \quad [1] \quad \text{e} \quad \sum M_U \cdot c_{pU} \cdot T_U = \sum M_I \cdot c_{pI} \cdot T_I \quad [2]$$

La pressione effettiva calcolata in un punto all'ingresso del condotto fumi/aria risulta dall'andamento delle pressioni effettive al di sopra del punto considerato (vedere [34]).

Nota: per quanto riguarda i canali da fumolaria si considera che il compito di vincere le perdite di carico sia affidato al ventilatore dell'apparecchio. Di conseguenza, ai fini del calcolo, si considera irrilevante la determinazione delle suddette perdite; viceversa risulta fondamentale per il calcolo stesso conoscere le temperature e le portate dei fumi nello stesso canale da fumo.

I parametri di funzionamento devono essere determinati nel modo seguente:

- i bilanci di massa e di energia partendo dal primo piano in basso fino all'ultimo piano in alto;
- i contributi al tiraggio effettivo in ogni tronco;
- il tiraggio effettivo all'imbocco del canale da fumo/aria nel condotto fumi/aria rispettivamente a ritroso dall'ultimo piano in alto fino al primo piano.

6.3 Relazioni e grandezze fondamentali per il calcolo

6.3.1 Grandezze relative all'ambiente esterno

6.3.1.1 *Temperatura dell'aria* $T_A = 293,15$ [3]

È la temperatura di progetto per la verifica del tiraggio.

Per le verifiche del punto di rugiada e della velocità minima vedere 8.2 e 8.3.

6.3.1.2 *Altezza geodetica, HG*

Questa altezza, riferita al livello del mare del luogo dove viene installato l'impianto, determina la pressione atmosferica da utilizzare nel calcolo.

6.3.1.3 *Pressione atmosferica, P_A*

Si ottiene tenendo conto della quota geodetica, come indicato nella UNI 9615-1, prospetto 4.

6.3.1.4 *Massa volumica dell'aria, ρ_a*

Si utilizza la legge di stato dei gas perfetti:

$$\rho_a = \frac{P_A}{R \cdot T_A} \quad [4]$$

dove: R è la costante dell'aria pari a 288 J/(kg K).

6.3.2 Grandezze fornite dal costruttore dell'apparecchio

6.3.2.1 *Portata termica nominale, N_{GN}*

è dichiarata dal costruttore dell'apparecchio.

6.3.2.2 *Portata termica minima, N_G*

è la frazione minima possibile, per un apparecchio modulante, della N_{GN}, dichiarata dal costruttore dell'apparecchio.

6.3.2.3 *Rendimento, η*

È dichiarato dal costruttore dell'apparecchio alla portata termica nominale (N_{GN}) e minima (N_G), misurato con il condotto di scarico di minima lunghezza equivalente prevista dal costruttore dell'apparecchio, in accordo con i metodi di prova della UNI 9893.

6.3.2.4 *Eccesso d'aria, e*

È fornito dal costruttore dell'apparecchio alla portata termica nominale (N_{GN}) e minima (N_G) misurato con il condotto di scarico di minima lunghezza equivalente prevista dal costruttore dell'apparecchio, in accordo con i metodi di prova della UNI 9893.

Nota: le grandezze indicate nel presente punto sono necessarie per calcolare i parametri di cui in 6.3.3 qualora essi non siano noti.

6.3.3 Grandezze termofluidodinamiche dei fumi e dell'aria comburente

6.3.3.1 *Composizione dei fumi, %CO₂, %O₂*

è fornita dal costruttore dell'apparecchio alla portata termica nominale (N_{GN}) e minima (N_G), misurata con il condotto di scarico di minima lunghezza equivalente prevista dal costruttore dell'apparecchio, in accordo con i metodi di prova della UNI 9893.

6.3.3.2 *Portata massica di fumi all'uscita dall'apparecchio, M_{fUG}*

è fornita dal costruttore dell'apparecchio come 6.3.3.1

6.3.3.3 *Portata massica di aria all'ingresso dell'apparecchio, M_{aIG}*

è fornita dal costruttore dell'apparecchio come 6.3.3.1, o calcolata secondo la:

$$M_{alG} = M_{fUG} - M_C$$

dove:

M_{alG} è la portata massica di aria comburente in condizioni di combustione teorica (completa);

M_C è la portata massica di gas combustibile.

6.3.3.4 Temperatura fumi all'uscita dall'apparecchio, T_{fUG}

È fornita dal costruttore dell'apparecchio come 6.3.3.1 e seguenti.

Le seguenti tre grandezze sono funzione della temperatura media del fluido e della sua composizione:

a) Capacità termica massica a pressione costante, c_p

Qualora non sia nota vedere UNI 9615-1, figura 12.

b) Viscosità dinamica, M_U

Qualora non sia nota, si faccia riferimento alla UNI 9615-1, figura 15 e moltiplicare il valore ottenuto per la relativa densità.

c) Conduttività termica, λ

Qualora non sia nota si faccia riferimento alla UNI 9615-1, figura 14.

6.3.4 Grandezze relative al sistema di evacuazione fumi (canali da fumolaria e canna fumaria)

6.3.4.1 Numero piani dell'edificio, n_p

Numero di piani di cui è costituito l'edificio.

6.3.4.2 Altezza del tratto terminale, H_U

Vedere 3.1 - Deve essere sempre garantita la condizione $H_U \geq 2,0$ m (figura 1)

6.3.4.3 Area della sezione, A

È la sezione netta di passaggio del fluido.

6.3.4.4 Perimetro della sezione, U

È il perimetro della superficie interessata dal fenomeno in esame caso per caso.

Per esempio nel caso di condotti coassiali, per il flusso esterno, il perimetro considerato per il moto è quello della superficie interna più quello della superficie esterna, mentre per la trasmissione del calore deve essere considerato solo quello della superficie interna.

6.3.4.5 Diametro idraulico, D_h

$$D_h = \frac{4 \cdot A}{U}$$

6.3.4.6 Resistenza termica di parete, RT

Deve essere determinata per regime stazionario e con riferimento alla temperatura media della parete interna a contatto coi fumi. Se non fossero disponibili certificati o dati forniti dal costruttore della canna fumaria in accordo con UNI 9731, per una parete multistrato (si numerino gli strati dall'interno verso l'esterno) se è nota la resistenza termica di parete dei singoli strati può essere calcolata come di seguito indicato:

$$RT = D_h \cdot \sum_{k=1}^{n_s} (RT_k / D_{hiH})$$

dove:

n_s è il numero di strati costituenti la parete in questione;

RT_H è la resistenza termica di parete dello strato H fornita dal costruttore;

D_h è il diametro idraulico interno;

D_{hiH} è il diametro idraulico della superficie interna dello strato H .

6.3.4.7 Coefficiente liminare esterno, α_e

Se il condotto è disposto internamente all'edificio porre

$\alpha_e = \alpha_{e,min} = 8,0$; se il condotto è disposto esternamente all'edificio porre $\alpha_e = \alpha_{e,max} = 23,0$.

Nel caso in cui il condotto sia parzialmente esposto all'esterno:

$$\alpha_e = RS \cdot \alpha_{e,max} + (1-RS) \alpha_{e,min} \quad [7]$$

dove:

RS è il rapporto tra la porzione di perimetro esposta all'esterno e il perimetro totale.

6.3.4.8 Rugosità media, r

Deve essere fornita dal costruttore di camini. Nel caso non sia nota vedere UNI 9615-1, prospetto 2.

6.3.4.9 Altezza di un piano, H_p

È la distanza verticale tra le due immissioni successive (figura 1).

6.3.4.10 Sezione netta dell'apertura/condotto di compensazione, A_D

6.3.4.11 Coefficiente perdita localizzata apertura/condotto di compensazione, ζ_D

Qualora non sia disponibile un valore per questo coefficiente si può utilizzare il valore ricavato dalla relativa tabella dell'appendice A (informativa) o dalla lettura tecnica.

6.3.4.12 Coefficiente di perdita localizzata dovuta alla presenza del comignolo, ζ_q

Fornito dal costruttore o ricavato dall'appendice A (informativa) o dalla lettura tecnica. Qualora non sia disponibile nessun valore porre: $\zeta_q = 2$.

7 Procedimento di calcolo

7.1 Generalità

Del calcolo iterativo si ottengono (figura 6) i seguenti parametri:

- in ogni nodo i valori della pressione e della temperatura,
 - in ogni tratto tra due nodi i valori medi della temperatura, della massa volumica e della velocità dei fumi.
- In ogni nodo ogni iterazione è composta delle due fasi seguenti:

Fase 1. Calcolare i parametri partendo dal nodo più basso fino allo sbocco in atmosfera:

- in corrispondenza dell'apertura o condotto di compensazione se esiste (figure da 1 a 4)
- portata massima dell'aria di compensazione

Alla prima iterazione si assume una portata nulla ($M_{aD}=0$). Nelle iterazioni successive si calcola come segue:

$$M_{aD} = \sqrt{\frac{2 \cdot P_D}{\rho_a \cdot \zeta_D}} \cdot A_D \cdot \rho_a \quad [8]$$

dove:

ζ_D è il coefficiente di perdita localizzata all'apertura o condotto di compensazione;

P_D è la differenza di pressione, tra l'aria esterna/ condotto aria e il condotto fumi, in corrispondenza dell'apertura o condotto di compensazione (le pressioni effettive a quell'altezza sono quelle calcolate secondo la [34].

Tale valore M_{aD} può essere utilizzato direttamente nei calcoli seguenti

Nota: per ridurre il numero di iterazioni da effettuare per raggiungere la convergenza adottare il valore:

$$M_{aD} = \gamma_{ma} \cdot M_{aD0} + (1 - \gamma_{ma}) \cdot M_{aD} \quad [9]$$

dove:

M_{aD} è il valore ottenuto applicando la [8]

M_{aD0} è il valore di M_{aD} utilizzato nell'iterazione precedente;

$$0,0 \leq \gamma_{ma} \leq 1,0$$

- in ogni canale da fumo/aria
- portata massima di fumi/aria:

Nota: eguali a quelle in ingresso/uscita dall'apparecchio oppure, se due apparecchi sono collegati (solo per i camini), sono calcolate secondo [11] e [10]. In questo ultimo caso parimenti devono essere calcolate le temperature secondo la [12];

- massa volumica media dei fumi/aria (si utilizza la [13]);
- velocità media dei fumi/aria (si utilizza la [14]);
- temperatura fumi/aria in uscita (si utilizzano la [26], [27] o [28] secondo i casi, figura 5);
- temperatura media fumi/aria (si utilizzano la [29],[30] o [31] secondo i casi).

- in ogni tronco del condotto fumi/aria

- portata massica dei fumi/aria prima/dopo la confluenza con i rispettivi canali (si utilizzano la [10] e la [11]);
- temperatura dei fumi dopo la confluenza (si utilizza la [12])

Nota: per la temperatura dell'aria questa è assunta uguale prima e dopo l'innesto del canale d'aria;

- massa volumica media dei fumi/aria (si utilizza la [13]);
- velocità media dei fumi/aria (si utilizza la [14]);
- temperatura fumi/aria in uscita (si utilizzano le [26],[27] o [28] secondo i casi, figura 5);
- temperatura media fumi/aria (si utilizzano le [29], [30] o [31] secondo i casi).

Fase 2. Calcolare i tiraggi effettivi ripercorrendo la canna fumaria a ritroso dallo sbocco in atmosfera fino al nodo più lontano da esso:

- contributo alla pressione statica all'imbocco del canale da fumo/aria nel condotto fumi/aria (si utilizza la [33]);
- perdite di carico per resistenze fluidodinamiche nel condotto fumi/aria (si utilizza la [17]);
- pressione effettiva all'imbocco del canale da fumo/aria nel condotto fumi/aria (si utilizza la [34]);

- pressione statica all'apertura o condotto di compensazione, se esiste (si utilizza la [33]);
- perdite di carico per resistenze fluidodinamiche all'apertura o condotto di compensazione, se esiste (si utilizza la [17]);
- pressione effettiva P_D all'apertura o condotto di compensazione, se esiste, o alla base del condotto fumi (si utilizza la [34]);
- variazione di pressione effettiva P_D tra due iterazioni successive (si utilizza la [35]);

Determinata la variazione di pressione effettiva P_D si effettua la prova di convergenza in [36]. Qualora detta variazione di pressione sia maggiore del valore ammissibile stabilito dalla presente norma (0,1 Pa) si deve ripetere, nella stessa sequenza, il calcolo delle grandezze sopraelencate (portate, temperature, pressioni, velocità, ecc.) introducendo dove sono cambiati, i nuovi valori delle grandezze. Qualora la [36] sia verificata, le grandezze calcolate all'ultima iterazione possono essere ritenute, con approssimazione sufficiente per lo scopo della presente norma, quelle di effettivo funzionamento della canna fumaria/camino in esame.

Si può quindi procedere con le verifiche di cui in 8.1, 8.2 e 8.3.

7.2 Portata massica e temperatura alla confluenza di due flussi

7.2.1 Portata massica di fumi dopo la confluenza nel condotto fumi, M_{fU}

È data dalla somma delle portate massiche in arrivo:

$$M_{fU} = \sum M_I \quad [10]$$

7.2.2 Portata massica di aria prima dell'imbocco nel canale d'aria, M_{aI}

È data dalla somma delle portate massiche in partenza dal nodo in questione:

$$M_{aI} = \sum M_U \quad [11]$$

7.2.3 Temperatura fumi dopo la confluenza nel condotto fumi, T_{fU}

Deve essere calcolata per tentativi. Mediante il bilancio dell'energia si determina il valore della temperatura dei fumi:

$$T_{fU} = \frac{M_{f1} \cdot c_{pf1} \cdot T_{f1} + M_{f2} \cdot c_{pf2} \cdot T_{f2}}{M_{fU} \cdot c_{pU}} \quad [12]$$

dove:

$T_{f1,2}$ è la temperatura dei fumi prima della confluenza;

$c_{pf1,2}$ è la capacità termica massica a pressione costante dei fumi prima della confluenza;

c_{pU} è la capacità termica massica a pressione costante dei fumi dopo la confluenza.

Nota: al primo tentativo si può adottare per la temperatura dei fumi dopo la confluenza (T_{fU}) il valore ottenuto dalla media ponderale delle temperature in ingresso rispetto alle portate massiche. In base al valore di tentativo di T_{fU} si determina la capacità termica massima dei fumi (c_{pU}). Si ripete il calcolo fino a trovare un valore di T_{fU} che differisce dal precedente di un valore minore di quello massimo prefissato (0,5°C).

7.3 Perdita di carico per resistenze fluidodinamiche in un tratto rettilineo di condotto

7.3.1 Massa volumica media, ρ_m

Si utilizza la legge dei gas perfetti e si approssima la pressione media del canale da fumo con quella atmosferica:

$$\rho_m = \frac{P_A}{T_m \cdot R} \quad [13]$$

dove:

P_A è la pressione atmosferica;

T_m è la temperatura media del fluido (qualora tale valore non sia ancora stato calcolato si adotti inizialmente una frazione ragionevole del valore iniziale della temperatura e si ripeta poi il calcolo con il valore trovato secondo la [29] o le [30] e [31]);

R è la costante di elasticità di ogni gas (pari a 288 J/(kg K) per l'aria e 300 J/(kg K) per i fumi).

7.3.2 Velocità media, W_m

Per ogni tratto rettilineo è determinata dalla relazione seguente:

$$W_m = \frac{M}{\rho_m \cdot A} \quad [14]$$

dove:

M è la portata massica del fluido nel condotto;

ρ_m è la massa volumica media del fluido calcolata secondo la [13];

A è l'area della sezione netta di passaggio.

7.3.3 Fattore di attrito in un tratto di condotto, Ψ

Si determina utilizzando la formula di Colebrook e White:

$$\frac{1}{\sqrt{\Psi}} = -2 \cdot \log \left(\frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\Psi}} + \frac{r}{3,71 \cdot DI} \right) \quad [15]$$

dove:

r è la rugosità media del condotto;

D_h è il diametro idraulico del condotto (calcolato secondo la [5] in cui, nel caso si tratti di condotti coassiali, sarà necessario tener conto di tutte le superfici lambite dai flussi);

Re è il numero di Reynolds determinato come segue:

$$Re = \frac{r_m \cdot DI \cdot W_m}{\mu} \quad [16]$$

in cui μ è la viscosità dinamica dei fumi nel canale da fumo, determinata come media delle viscosità dinamiche dei singoli costituenti dei fumi.

7.3.4 Perdita di carico per resistenze fluidodinamiche, ΔP

Si ottiene dalla relazione:

$$\Delta P = SE \left[1/2 \rho_m W_m^2 \left(\Psi \frac{H_t}{D_h} + \sum \xi_k \right) \right] + P_W \quad [17]$$

dove:

P_W è la variazione di pressione dovuta a variazione di velocità, calcolata come segue:

$$P_W = 1/2 \rho_m W_m^2 \left[1 - \left(\frac{W_1}{W_2} \right)^2 \right] \quad [18]$$

in cui:

W_1 è la velocità dei fumi prima della variazione;

W_2 è la velocità dei fumi dopo la variazione.

Nel caso in cui W_2 sia maggiore di W_1 si dovrà considerare la seguente:

$$P_W = SE \left\{ 1/2 \rho_m W_m^2 \left[1 - \left(\frac{W_1}{W_2} \right)^2 \right] \right\} \quad [19]$$

SE è il fattore sicurezza fluidodinamico, posto pari a 1,2 per questi apparecchi;

ρ_m è la massa volumica media del fluido, calcolata secondo la [13];

W_m è la velocità media nel tratto, calcolata secondo la [14];

H_t è lo sviluppo totale del tratto di condotto;

D_h è il diametro idraulico, calcolato secondo la [5];

ξ_k è il k-esimo coefficiente di perdita localizzata: tiene conto delle perdite per l'imbocco del canale da fumo/aria nel condotto fumi/aria e delle variazioni di sezione e di direzione. Può essere ottenuto dalla tabelle in appendice A (informativa) o dalla lettura tecnica;

Ψ è il fattore di attrito nel tratto di condotto, determinato secondo la [15].

7.4 Variazione di temperatura in un tratto di condotto

7.4.1 Coefficiente liminare, α

Si utilizza la seguente relazione:

$$\alpha = \frac{\lambda Nu}{D_h} \quad [20]$$

dove:

λ è la conduttività termica del fluido;

D_h è il diametro idraulico, calcolato secondo la [5];

Nu è il numero di Nusselt, calcolato come segue:

$$Nu = \left(\frac{\Psi}{\Psi_0} \right)^{0,67} 0,035 4 (Re^{0,75} - 180) \quad [21]$$

in cui:

Ψ è il fattore di attrito per tubo rugoso (si utilizza la [15]);

Ψ_0 è il fattore di attrito per tubo liscio (si utilizza la [15] imponendo $r = 0$);

Re è il numero di Reynolds calcolato secondo la [16].

Nota: la relazione è valida per $3000 < Re$ e $(\Psi / \Psi_0) < 3,0$.

Se risulta a $\alpha < 5$ porre $\alpha = 5$.

7.4.2 Coefficiente globale di scambio termico, k

Nel caso di condotti non coassiali, può essere calcolato con la relazione:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \left(RT + \frac{D_h}{D_{he}} \cdot \frac{1}{\alpha_e} \right) \cdot SH} \quad [22]$$

Nel caso di condotti coassiali (figura 5), può essere calcolato con la relazione:

$$k_{1,2} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + RT \cdot SH + \frac{D_h}{D_{he}} \cdot \frac{1}{\alpha_e}} \quad [23]$$

dove:

α_i è il coefficiente liminare interno calcolato secondo la [20];

α_e è il coefficiente liminare esterno calcolato secondo la [7] nel caso di condotti semplici, mentre nel caso di condotti coassiali si dovrà usare la [20];

D_{he} è il diametro idraulico esterno del tratto;

SH è il fattore di correzione per temperatura non costante pari a 0,5;

RT è la resistenza termica di parete del condotto.

7.4.3 Fattore di raffreddamento, KR , $KR_{1,2}$

È determinato come segue:

nel caso di condotti non coassiali
$$KR = \frac{U \cdot k \cdot L}{M \cdot c_p} \quad [24]$$

nel caso di condotti coassiali (figura 5), indicando con 1 e 2 rispettivamente il fluido interno e quello esterno che sono in controcorrente,

$$KR_{1,2} = \left(\frac{1}{M_2 \cdot c_{p2}} + \frac{1}{M_1 \cdot c_{p1}} \right) U \cdot L \cdot k_{1,2} \quad [25]$$

dove:

c_p , $c_{p1,2}$ è la capacità termica massica a pressione costante del fluido;

U è il perimetro interessato nello scambio termico;

L è la lunghezza del tratto di condotto;

k , $k_{1,2}$ è il coefficiente globale di scambio termico calcolato secondo la [22] o [23] rispettivamente.

7.4.4 Temperatura fumi all'uscita del condotto, T_{fU} , T_{1U} , T_{2U}

è così calcolata:

nel caso di condotti non coassiali:
$$T_{fU} = T_a + (T_{fI} - T_a) \cdot e^{-KR} \quad [26]$$

dove:

KR è il fattore di raffreddamento calcolato secondo la [24];

T_a è la temperatura dell'aria esterna al tratto;

T_{fI} è la temperatura dei fumi all'ingresso del tratto.

E nel caso di condotti coassiali e di scambio termico del condotto dell'aria con l'esterno trascurabile rispetto a quello tra il condotto dei fumi e il condotto dell'aria (si indichi con 1 il fluido nel condotto interno e con 2 quello nel condotto esterno come indicato in figura 5):

$$T_{2U} = T_{2I} - \frac{(T_{1I} - T_{2I}) \cdot e^{-KR_{1,2}} - (T_{1I} - T_{2I})}{1 + \frac{M_2 \cdot c_{p2}}{M_1 \cdot c_{p1}}} \quad [27] \quad \text{e} \quad T_{1U} = \frac{M_2 \cdot c_{p2}}{M_1 \cdot c_{p1}} \cdot (T_{2I} - T_{2U}) + T_{1I} \quad [28]$$

dove:

$KR_{1,2}$ è il fattore di raffreddamento calcolato secondo la [25];

M_1 e M_2 sono le portate massiche dei due fluidi;

T_{fI} e T_{fU} sono le temperature di ingresso dei due fluidi;

c_{p1} e c_{p2} sono le capacità termiche massiche dei due fluidi alle rispettive temperature medie.

Nel caso in cui lo scambio termico del canale d'aria con l'esterno non sia trascurabile si devono utilizzare i dati forniti dai costruttori degli apparecchi, per le condizioni di installazione previste, in corrispondenza all'immissione del canale da fumo/d'aria in canna fumaria.

7.4.5 Temperatura media dei fumi nel condotto, T_{fm}

Si calcola come segue:

nel caso di condotto non coassiale
$$T_{fm} = T_a + (T_{fI} - T_a) \cdot \frac{1 - e^{-KR}}{KR} \quad [29]$$

nel caso di condotto coassiale, in prima approssimazione ponendo

$$T_{1m} = \frac{T_{1I} + T_{1U}}{2} \quad [30] \quad \text{e} \quad T_{2m} = \frac{T_{2I} + T_{2U}}{2} \quad [31]$$

L'errore è accettabile ai fini del calcolo quando:

$$\frac{|T_{1I} - T_{2U}|}{|T_{2I} - T_{1U}|} < 1,5 \quad [32]$$

7.5 Pressioni in un tratto di condotto

7.5.1 Pressione statica all'imbocco, P_{SI}

Si calcola come segue:

$$P_{SI} = [(\rho_a - \rho_m) \cdot H \cdot g] \cdot B \quad [33]$$

dove:

H è l'altezza effettiva del condotto (dislivello tra uscita e ingresso);

g è l'accelerazione di gravità;

B è il coefficiente di direzione del flusso

= +1 per flusso verticale ascendente;

= -1 per flusso verticale discendente.

7.5.2 Pressione effettiva all'imbocco, P_{rI}

In una qualsiasi sezione la pressione effettiva è determinata come somma dei contributi di pressione effettiva di tutti i tratti di condotto soprastanti la sezione stessa. I contributi di ogni tratto sono dati dalla differenza tra la pressione statica e la perdita di carico per resistenze fluidodinamiche. A questi deve essere sottratta la perdita di carico dovuta alla presenza del comignolo. La relazione è:

$$P_{rI} = \sum_{n=j+1}^{np+1} (P_{sin} - \Delta P_n) - 1/2 \rho_m \cdot W_m^2 \cdot \zeta_q \quad [34]$$

dove:

ζ_q è il coefficiente di perdita localizzata dovuta alla presenza del comignolo.

7.6 Massima variazione consentita fra due iterazioni successive

7.6.1 Variazione di pressione, EP_r

Alla fine del processo iterativo si calcola la differenza fra il valore corrente della pressione effettiva all'apertura o condotto di compensazione e il suo valore ottenuto all'iterazione precedente.

$$EP_r = P_D - P_{D0} \quad [35]$$

dove:

P_D è la pressione effettiva all'apertura o condotto di compensazione calcolata secondo la [34],

P_{D0} è la pressione effettiva all'apertura o condotto di compensazione calcolata nell'iterazione precedente.

Se EP_r risulta maggiore del limite stabilito dalla presente norma (0,1 Pa) si ripete l'intero procedimento, adottando come nuovi valori di tentativo quelli ottenuti nell'ultima iterazione eseguita.

Perché il calcolo sia accettabile (abbia cioè raggiunto la convergenza) deve risultare quindi:

$$EP_r \leq 0,1 \quad [36]$$

8 Criteri di verifica

8.1 Pressione effettiva

In corrispondenza di tutte le immissioni nel condotto fumi e per tutti gli stati di carico dell'impianto, deve essere verificata la seguente relazione:

$$P_{rf} \geq 0 \quad [37]$$

Inoltre nel caso di canna fumaria combinata, per tutte le immissioni da apparecchi in funzione, deve valere la

$$(P_{rf} + P_{ra}) \geq 0 \quad [38]$$

dove:

P_{ra} è la pressione effettiva all'imbocco del canale d'aria nel condotto aria calcolata secondo la [34];

P_{rf} è la pressione effettiva all'imbocco del canale da fumo nel condotto fumi calcolata secondo la [34];

La verifica deve essere effettuata nei seguenti casi limite:

caso 1: tutti gli apparecchi accesi e funzionanti alle condizioni di portata termica nominale;

caso 2: solo l'apparecchio al piano 1 funzionante alle condizioni di portata termica minima prevista

caso 3: solo l'apparecchio al piano np funzionante alle condizioni di portata termica nominale.

8.2 Temperatura

La temperatura interna di parete in ogni punto del condotto fumi deve soddisfare la [41], nel caso 2 di cui in 8.1, ma con l'apparecchio funzionante alle condizioni di portata termica nominale, utilizzando un fattore per temperatura non costante $SH = 1$ e una temperatura di progetto esterna calcolata come segue:

- se il camino/canna fumaria è disposto internamente all'edificio per tutta la sua lunghezza senza nessuna porzione della superficie perimetrale esposta all'esterno

$$T_a = T_{a,max} = 293,15 \quad [39]$$

- se il camino/canna fumaria è disposto esternamente all'edificio per tutta la sua lunghezza e con tutta la superficie perimetrale esposta all'esterno T_a è uguale alle temperature come riportate nel prospetto 1 della presente norma;
- nel caso in cui una porzione ω della superficie perimetrale esterna della canna fumaria sia esposta all'esterno dell'edificio

$$T_a = 293(1-\omega) + TP \cdot \omega \quad [40]$$

dove:

TP è la temperatura esterna di progetto come riportato nel prospetto 1 della presente norma espressa però in gradi K.

Verificare la [41] in cui è sufficiente prendere in considerazione la temperatura di parete alle sbocco in atmosfera, dove la temperatura è la più bassa di tutto il condotto dei fumi.

$$T_{pU} > T_R \quad [41]$$

dove:

T_{pU} è la temperatura di parete all'uscita del condotto fumi calcolata secondo la [42]

T_R è la temperatura di riferimento pari alla

- temperatura di rugiada se le condizioni di funzionamento previste sono a secco (è determinata come indicato di seguito);
- temperatura di congelamento se le condizioni di funzionamento previste sono a umido ($T_R = 273,15$ K).

8.2.1 Temperatura di rugiada

È calcolata come segue:

- si determina il bilancio delle specie chimiche nei fumi prima della sbocco in atmosfera;
- si valuta la pressione parziale del vapor d'acqua nei fumi;
- si ricava infine la temperatura di rugiada in funzione della pressione parziale del vapor d'acqua nei fumi. Vedere UNI 9615-1, figura 19.

8.2.2 Temperatura di parete all'uscita dal condotto fumi, T_{pU}

È calcolata come segue: $T_{pU} = T_{fU} - (T_{fU} - T_a) k/\alpha_i \quad [42]$

dove:

k è il coefficiente globale di scambio termico del tratto terminale del condotto fumi calcolato secondo la [22] o [23];

α_i è il coefficiente liminare interno del tratto terminale del condotto fumi calcolato secondo la [20];

T_{fU} è la temperatura fumi all'uscita dal condotto fumi calcolato secondo la [26] o [28].

8.3 Velocità

Nelle stesse condizioni della verifica di temperatura, deve essere verificata la relazione:

$$W_m \geq W_{min} \quad [43]$$

dove:

W_m è la velocità calcolata secondo la [14] nel condotto fumi nei tratti attraversati dai fumi provenienti dai generatori di calore in funzione;

W_{min} è la velocità minima ammissibile dei fumi nella canna fumaria pari a:

$$W_{min} = f_W \cdot \sqrt[4]{A} \quad [44]$$

in cui:

f_W è il coefficiente di velocità minima pari a $1,58 \text{ m}^{1/2}\text{S}^{-1}$;

A è l'area netta della sezione di passaggio.

Per il caso 1 di cui in 8.1 deve essere verificata la

$$W_m \leq W_{max} \quad [45]$$

dove:

W_{max} è la velocità massima ammissibile dei fumi nella canna fumaria collettiva, pari a 7 m/s.

Prospetto 1 - Temperature invernali minime adottate per il calcolo dell'aria esterna¹

Località	Temperatura °C	Località	Temperatura °C
Torino	- 8	Pordenone	- 5
Alessandria	- 8	Udine	- 5
Asti	- 8	Bassa Carnia	- 7
Cuneo	- 10	Alta Carnia	- 10
Alta Valle Cuneese	- 15	Tarvisio	- 15
Novara	- 5	Bologna	- 5
Vercelli	- 7	Ferrara	- 5
Aosta	- 10	Forlì	- 5
Valle d'Aosta	- 15	Modena	- 5
Alta Valle d'Aosta	- 20	Parma	- 5
Genova	0	Piacenza	- 5
Imperia	0	Provincia di Piacenza	- 7
La Spezia	0	Ravenna	- 5
Savona	0	Reggio Emilia	- 5
Milano	- 5	Ancona	- 2
Bergamo	- 5	Ascoli Piceno	- 2
Brescia	- 7	Macerata	- 2
Como	- 5	Pesaro	- 2
Provincia di Como	- 7	Firenze	0
Cremona	- 5	Arezzo	0
Mantova	- 5	Grosseto L.	0
Pavia	- 5	Livorno	0
Sondrio	- 10	Lucca	0
Alta Valtellina	- 15	Massa Carrara	0
Varese	- 5	Pisa	0
Trento	- 12	Siena	- 2
Bolzano	- 15	Perugia	- 2
Venezia	- 5	Terni	- 2
Belluno	- 10	Roma	0
Padova	- 5	Frosinone	0
Rovigo	- 5	Latina	2
Treviso	- 5	Rieti	- 3
Verona	- 5	Viterbo	- 2
Verona (zona lago)	- 3	Napoli	2
Verona (zona montagna)	- 10	Avellino	- 2
Vicenza	- 5	Benevento	- 2
Vicenza (zona altopiani)	- 10	Caserta	0
Trieste	- 5	Salerno	2
Gorizia	- 5	L'Aquila	- 5

segue nella pagina successiva

1) - I dati riportati nel prospetto sono desunti dall'allegato 1 del DPR 22 giugno 1977, N° 1052 "Regolamento di esecuzione alla legge 30 aprile 1976, N° 373".

Località	Temperatura °C	Località	Temperatura °C
continua dalla pagina precedente			
Chieti	0	Cosenza	-3
Pescara	2	Palermo	5
Teramo	0	Agrigento	3
Campobasso	-4	Caltanissetta	0
Bari	0	Catania	5
Brindisi	0	Enna	-3
Foggia	0	Messina	5
Lecce	0	Ragusa	0
Taranto	0	Siracusa	5
Potenza	-3	Trapani	5
Matera	-2	Cagliari	3
Reggio Calabria	3	Nuoro	0
Catanzaro	-2	Sassari	2

Ove si tratti di località non espressamente indicata adottare quale temperatura esterna quella della località più vicina indicata nell'elenco, modificandola:

- per tener conto della diversa altitudine sul livello del mare:
temperatura invariata sino a circa 200 m di differenza di quota;
diminuzione (o aumento) di 1 °C per ogni 200 m di quota maggiore (o minore) oltre 200 m;
- per tener conto della diversa situazione dell'ambiente esterno:
temperatura invariata, salvo correzioni di altezza, in un complesso urbano;
diminuzione di 0,5 a 1 °C in piccoli agglomerati;
diminuzione di 1 a 2 °C in edifici isolati;
- per tener conto dell'altezza degli edifici, limitatamente ai piani di altezza maggiore di quella degli edifici vicini [inclusa la diminuzione di cui in b)] diminuzione di 1 a 2 °C.

Fig. 5 - Schema dei flussi in condotti coassiali

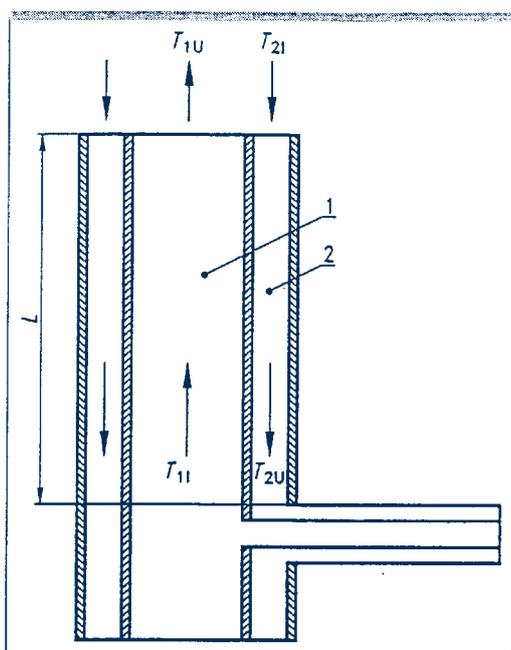
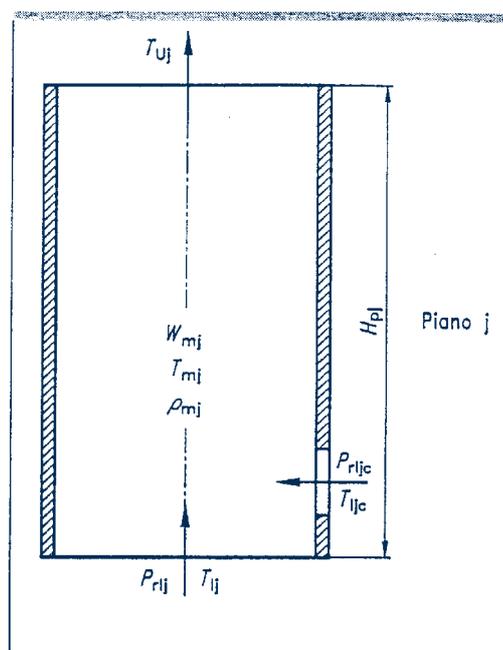
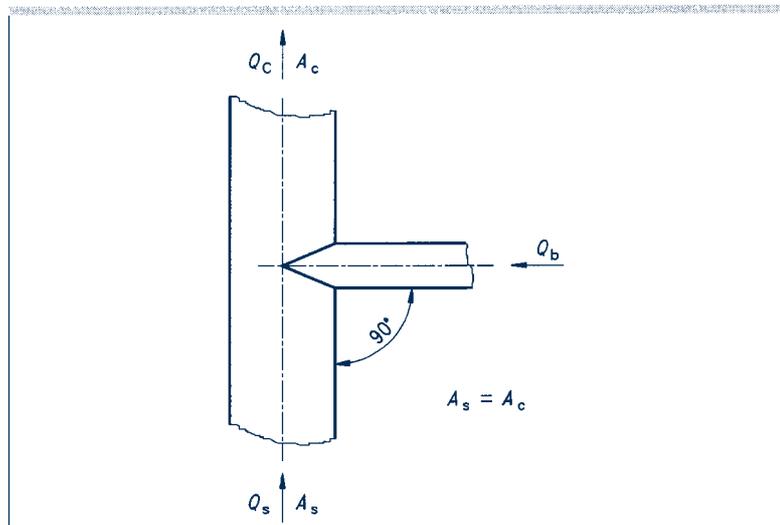


Fig. 6 - Parametri del calcolo



APPENDICE A - COEFFICIENTI DI PERDITA LOCALIZZATA (informativa)

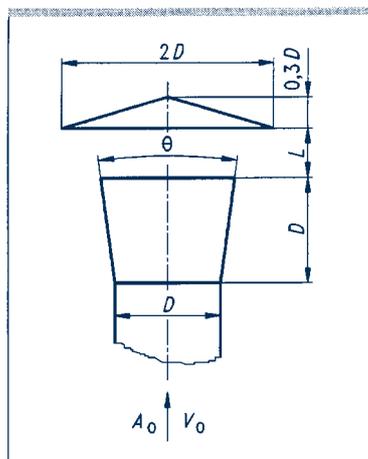
Fig. A.1 - Convergenza a T, rotonda



Prospetto A.1 - Convergenza a T, rotonda

Condotto fumi											
Q_b / Q_c	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\xi_{C,S}$	0,0	0,16	0,27	0,38	0,46	0,53	0,57	0,59	0,60	0,59	0,55

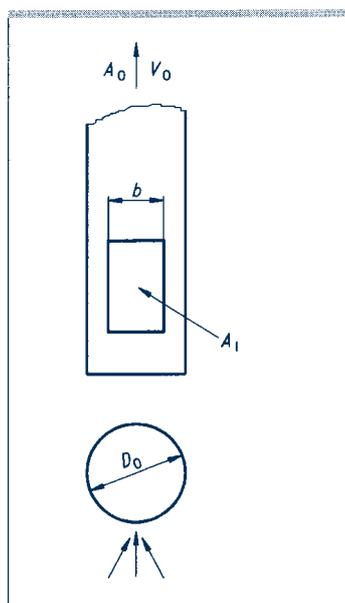
Fig. A.2 - Terminale di scarico



θ gradi	ξ_0				
	L/D				
	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
0	---	1,2	1,1	1,0	1,0
15	0,65	0,60	0,60	0,60	0,60

Prospetto A.2 - Terminale di scarico

Fig. A.3 - Apertura di ingresso dell'aria sul lato di un condotto



b/D_0	ξ_0						
	A_1/A_0						
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
0,13	85	-	-	-	-	-	-
0,26	85	42	23	16	12	-	-
0,38	79	38	23	16	12	9,3	6,4
0,48	75	36	22	15	11	8,8	6,9
0,62	61	33	20	14	10	8,0	6,5
0,70	63	30	18	13	9,4	7,4	6,0

Prospetto A.3 - Apertura di ingresso dell'aria sul lato di un condotto

APPENDICE B - ESEMPI DI CALCOLO (informativa)

B.1 - Canna fumaria collettiva senza apertura di compensazione³

L'esempio prende in esame una canna fumaria collettiva (vedere 6.1) di altezza totale pari a 10,3 m senza apertura di compensazione alla base. La canna, installata all'esterno, è al servizio di 3 caldaie uguali, ubicate su piani diversi, aventi ciascuna portata termica nominale pari a 26,6 kW. La canna ha diametro interno di 200 mm e resistenza termica pari a 0,34 m² K/W.

B.1.1 - Dati di partenza

Condotto fumi

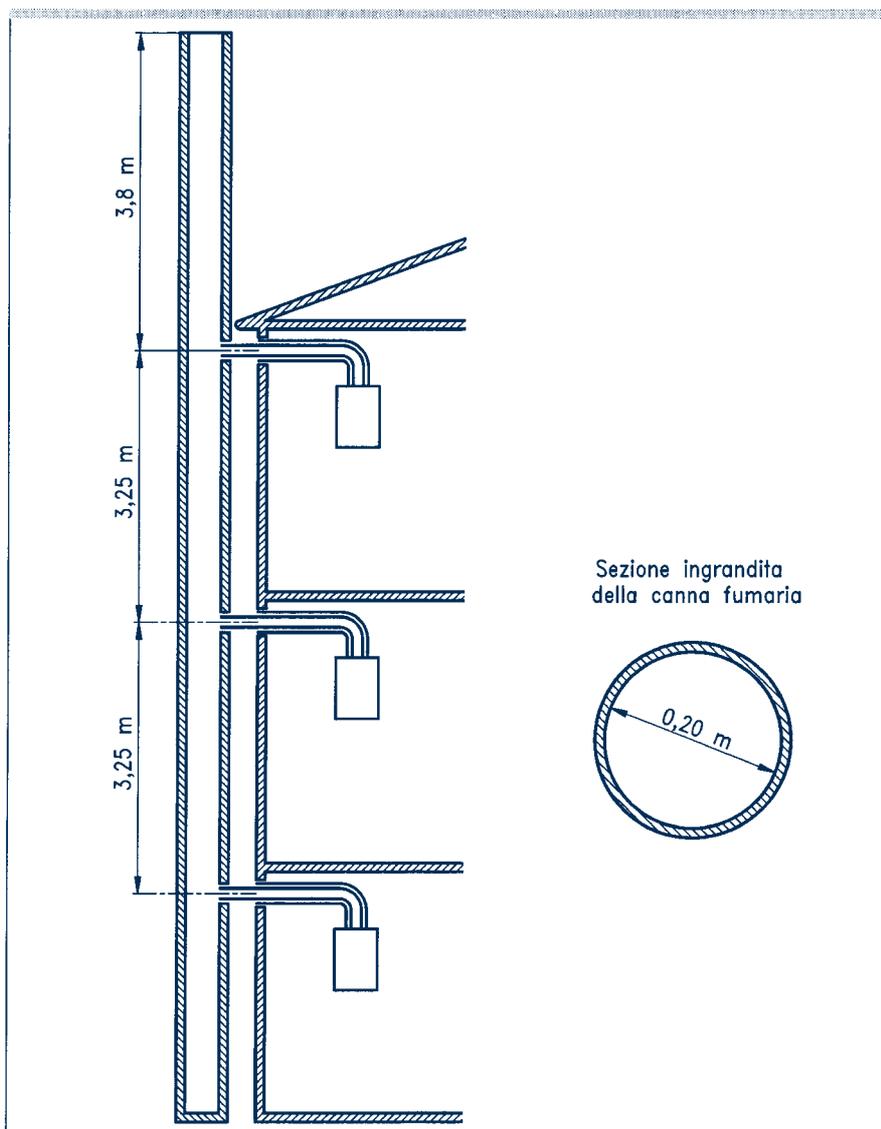
Grandezza	Unità di misura	Valore	Riferimento formule
n° piani		3	
temperatura ambiente	K	293,15	[3]
costante dell'aria	J/(kg K)	288	
capacità termica massica aria	J/(kg K)	1 004,6	
altezza geodetica	m	120	
pressione atmosferica	Pa	95 500	
massa volumica aria esterna	kg/m ³	1,13	[4]
coefficiente liminare esterno condotto fumi	W/(m ² K)	23	[7]
coefficiente liminare esterno canali da fumo	W/(m ² K)	8	[7]
fattore per temperatura non costante	-	0,5	
coefficiente di sicurezza fluidodinamico	-	1,2	
potere calorifico inferiore	MJ/kg	50	
costante dei fumi	J/(kg K)	300	
configurazione	-	A	
forma sezione	-	Circolare	
diámetro interno condotto fumi (vedere figura B.1)	m	0,2	
diámetro esterno condotto fumi	m	0,25	
rugosità condotto fumi	m	0,001	
resistenza termica condotto fumi	m ² K/W	0,34	
area interna condotto fumi	m ²	0,031 4	
perimetro interno condotto fumi	m	0,63	
diámetro idraulico interno del condotto fumi	m	0,2	[5]
area esterna del condotto fumi	m ²	0,049 1	
perimetro esterno condotto fumi	m	0,79	
diámetro idraulico esterno del condotto fumi	m	0,25	[5]

3) - I dati usati in questo esempio sono dati di ingresso tipici delle canne collettive di materiale metallico. L'esempio è applicabile anche ad altri materiali modificando opportunamente i dati di ingresso

Canali da fumo

Grandezza	Unità di misura	Valore	Valore	Valore	Riferimento formule
resistenza termica parete canali da fumo	m ² KW	0,00	0,00	0,00	
diametro interno canali da fumo	m	0,063	0,063	0,063	
diametro esterno canali da fumo	m	0,065	0,065	0,065	
altezza canali da fumo	m	0,14	0,18	0,06	
sviluppo canali da fumo	m	1,07	1,14	0,74	
rugosità canali da fumo	m	0,001	0,001	0,001	
altezza piano (vedere figura B.1)	m	3,25	3,25	3,8	
portata termica	W	26 600	26 600	26 600	
rendimento	%	87	87	87	
eccesso d'aria	%	153	153	153	
portata massica fumi	kg/s	0,023	0,023	0,023	
temperatura fumi all'uscita apparecchio	K	419,15	419,15	419,15	
capacità termica massica fumi all'uscita apparecchio	J/(kg K)	1 070	1 070	1 070	
area interna canali da fumo	m ²	0,003 1	0,003 1	0,003 1	
perimetro interno canali da fumo	m	0,2	0,2	0,2	
diametro idraulico interno canali da fumo	m	0,063	0,063	0,063	[5]
area esterna canali da fumo	m ²	0,003 3	0,003 3	0,003 3	
perimetro esterno canali da fumo	m	0,2	0,2	0,2	
diametro idraulico esterno canali da fumo	m	0,065	0,065	0,065	[5]

Fig. B.1 - Disegno schematico della canna collettiva



B.1.2 - Risultati del calcolo

I risultati del calcolo evidenziano depressioni all'interno del condotto fumi, in corrispondenza degli innesti dei canali da fumo con valori da 10 Pa a 28 Pa con le tre caldaie accese. Inoltre la velocità nel condotto fumi assume valori massimi pari a 3 m/s circa, cioè molto minori del limite di 7 m/s di cui in 8.3 e alla [45]. Di seguito si riporta indicativamente l'ultima iterazione del calcolo.

Canali da fumo

piano		1°	2°	3°	
massa volumica media fumi	kg/m ³	0,77	0,77	0,77	[13]
velocità media fumi	m/s	9,56	9,55	9,61	[14]
n° di Reynolds	-	25 824	25 824	25 824	[16]
fattore di attrito ruvido	-	0,046	0,046	0,046	[15]
fattore di attrito liscio	-	0,024	0,024	0,024	[15]
n° di Nusselt	-	101	101	101	[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)	48	48	48	[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)	12	12	12	[22]
capacità termica massica fumi	J/(kg K)	1 040	1 040	1 040	
fattore di raffreddamento	-	0,11	0,12	0,08	[24]
temperatura fumi all'uscita	K	406	405	410	[26]
temperatura media fumi	K	413	412	415	[29]

Condotta fumi

Grandezza	Unità di misura	Valore	Valore	Valore	Riferimento formule
piano		1°	2°	3°	
portata massica fumi	kg/s	0,023	0,046	0,069	[10]
temperatura fumi all'ingresso	K	406	396	394	[12]
massa volumica fumi	kg/m ³	0,78	0,80	0,81	[13]
velocità media fumi	m/s	0,93	1,82	2,72	[14]
n° di Reynolds	-	8 135	16 269	24 404	[16]
fattore di attrito ruvido	-	0,039	0,035	0,034	[15]
fattore di attrito liscio	-	0,033	0,027	0,025	[15]
n° di Nusselt	-	27	53	77	[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)	5	8	12	[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)	2	3	3	[22]
capacità termica massica fumi	J/(kg K)	1 040	1 040	1 040	
fattore di raffreddamento	-	0,18	0,11	0,09	[24]
temperatura fumi all'uscita	K	387	386	385	[26]
temperatura media fumi	K	396	391	389	[29]
temperatura parete all'uscita	K	347	356	362	[42]
pressione statica	Pa	11	10	12	[33]
coefficiente perdita localizzata all'uscita	-	0,55	0,53	0,41	
perdita di carico fluidodinamico all'uscita	Pa	1	2	2	[17]
pressione effettiva all'ingresso	Pa	28	18	10	[34]
massimo errore di pressione all'ingresso	Pa	0,00			[35]

Nel caso 2 di cui in 8.1 (solo la caldaia più bassa accesa al minimo del carico pari a 10,6 kW e 0,010 kg/s e 135 °C all'uscita dal generatore) la depressione all'imbocco del relativo canale da fumo nel condotto fumi risulta pari a 21 Pa.

Canali da fumo

Grandezza	Unità di misura	Valore			Riferimento formule
		1°	2°	3°	
piano					
massa volumica media fumi	kg/m ³	0,80			[13]
velocità media fumi	m/s	4,01			[14]
n° di Reynolds	-	11 228			[16]
fattore di attrito ruvido	-	0,048			[15]
fattore di attrito liscio	-	0,030			[15]
n° di Nusset	-	44			[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)	21			[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)	9			[22]
capacità termica massica fumi	J/(kg K)	1 040			
fattore di raffreddamento	-	0,19			[24]
temperatura fumi all'uscita	K	388			[26]
temperatura media fumi	K	398			[29]

Condotto fumi

Grandezza	Unità di misura	Valore			Riferimento formule
		1°	2°	3°	
piano					
portata massica fumi	kg/s	0,01	0,01	0,01	[10]
temperatura fumi all'ingresso	K	388	356	334	[12]
massa volumica fumi	kg/m ³	0,82	0,93	0,99	[13]
velocità media fumi	m/s	0,39	0,34	0,32	[14]
n° di Reynolds	-	3 537	3 537	3 537	[16]
fattore di attrito ruvido	-	0,046	0,046	0,046	[15]
fattore di attrito liscio	-	0,041	0,041	0,041	[15]
n° di Nusset	-	11	11	11	[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)	5	5	5	[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)	2	2	2	[22]
capacità termica massica fumi	J/(kg K)	1 040	1 040	1 040	
fattore di raffreddamento	-	0,42	0,42	0,49	[24]
temperatura fumi all'uscita	K	356	334	318	[26]
temperatura media fumi	K	371	344	326	[29]
temperatura parete all'uscita	K	329	317	308	[42]
pressione statica	Pa	10	6	5	[33]
coefficiente perdita localizzata all'uscita	-	0,55	0,00	0,00	
perdita di carico fluidodinamico all'uscita	Pa	0	0	0	[17]
pressione effettiva all'ingresso	Pa	21	11	5	[34]
massimo errore di pressione all'ingresso	Pa	0,00			[35]

Nel caso 3 di cui 8.1 (solo la caldaia più alta funzionante a carico massimo) la depressione all'imbocco del canale da fumo nel condotto fumi risulta pari a 13 Pa.

Canali da fumo

Grandezza	Unità di misura	Valore			Riferimento formule
		1°	2°	3°	
piano		1°	2°	3°	
massa volumica media fumi	kg/m ³			0,77	[13]
velocità media fumi	m/s			9,61	[14]
n° di Reynolds	-			25 824	[16]
fattore di attrito ruvido	-			0,046	[15]
fattore di attrito liscio	-			0,024	[15]
n° di Nusselt	-			101	[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)			48	[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)			12	[22]
capacità termica massica fumi	J/(kg K)			1 040	
fattore di raffreddamento	-			0,08	[24]
temperatura fumi all'uscita	K			410	[26]
temperatura media fumi	K			415	[29]

Condotto fumi

Grandezza	Unità di misura	Valore			Riferimento formule
		1°	2°	3°	
piano		1°	2°	3°	
portata massica fumi	kg/s	0,000	0,000	0,023	[10]
temperatura fumi all'ingresso	K	293	293	409	[12]
massa volumica fumi	kg/m ³	1,13	1,13	0,78	[13]
velocità media fumi	m/s	0,00	0,00	0,95	[14]
n° di Reynolds	-	100	100	8 170	[16]
fattore di attrito ruvido	-	0,171	0,171	0,039	[15]
fattore di attrito liscio	-	0,169	0,169	0,033	[15]
n° di Nusselt	-	- 5	- 5	27	[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)	5	5	5	[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)	2	2	2	[22]
capacità termica massica fumi	J/(kg K)	1 040	1 040	1 040	
fattore di raffreddamento	-	42,01	42,01	0,21	[24]
temperatura fumi all'uscita	K	293	293	387	[26]
temperatura media fumi	K	293	293	398	[29]
temperatura parete all'uscita	K	293	293	347	[42]
pressione statica	Pa	0	0	13	[33]
coefficiente perdita localizzata all'uscita	-	0,00	0,00	0,55	
perdita di carico fluidodinamico all'uscita	Pa	0	0	0	[17]
pressione effettiva all'ingresso	Pa	13	13	13	[34]
massimo errore di pressione all'ingresso	Pa	0,00			[35]

Nei casi previsti in 8.2 e 8.3 (solo la caldaia più bassa funzionante a carico massimo con temperatura esterna pari a -5 °C come da prospetto 1) la temperatura di uscita risulta pari a 67 °C e quindi sicuramente maggiore del punto di rugiada. Nelle condizioni suddette, la minima velocità nel condotto fumi risulta pari a 0,84 m/s a fronte di un valore minimo secondo 8.3 di 0,67 m/s

Canali da fumo

Grandezza	Unità di misura	Valore			Riferimento formule
		1°	2°	3°	
piano					
massa volumica media fumi	kg/m ³	0,77			[13]
velocità media fumi	m/s	9,61			[14]
n° di Reynolds	-	25 824			[16]
fattore di attrito ruvido	-	0,046			[15]
fattore di attrito liscio	-	0,024			[15]
n° di Nusselt	-	101			[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)	48			[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)	7			[22]
capacità termica massica fumi	J/(kg K)	1 040			
fattore di raffreddamento	-	0,06			[24]
temperatura fumi all'uscita	K	410			[26]
temperatura media fumi	K	415			[29]

Condotto fumi

Grandezza	Unità di misura	Valore			Riferimento formule
		1°	2°	3°	
piano					
portata massica fumi	kg/s	0,023	0,023	0,023	[10]
temperatura fumi all'ingresso	K	410	394	381	[12]
massa volumica fumi	kg/m ³	0,78	0,84	0,87	[13]
velocità media fumi	m/s	0,94	0,87	0,84	[14]
n° di Reynolds	-	8 135	8 135	8 135	[16]
fattore di attrito ruvido	-	0,039	0,039	0,039	[15]
fattore di attrito liscio	-	0,033	0,033	0,033	[15]
n° di Nusselt	-	27	27	27	[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)	5	5	5	[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)	1	1	1	[22]
capacità termica massica fumi	J/(kg K)	1 040	1 040	1 040	
fattore di raffreddamento	-	0,12	0,12	0,14	[24]
temperatura fumi all'uscita	K	394	381	366	[26]
temperatura media fumi	K	402	387	373	[29]
temperatura parete all'uscita	K	360	350	340	[42]
pressione statica	Pa	15	13	14	[33]
coefficiente perdita localizzata all'uscita	-	0,55	0,00	0,00	
perdita di carico fluidodinamico all'uscita	Pa	0	0	0	[17]
pressione effettiva all'ingresso	Pa	40	26	13	[34]
massimo errore di pressione all'ingresso	Pa	0,00			[35]

Dai risultati sopra riportati si può concludere che questa canna fumaria soddisfa ai criteri di verifica della presente norma, per condizioni di funzionamento a secco.

B.2 - Canna collettiva con apertura di compensazione⁴

L'esempio prende in esame una canna collettiva (vedere 6.1) di altezza totale pari a 20,5 m senza apertura di compensazione alla base. La canna, installata all'esterno, è al servizio di 4 caldaie uguali, ubicate su piani diversi aventi ciascuna portata termica nominale di 26,6 kW. La canna ha diametro interno di 200 mm e resistenza termica di parete pari a 0,28 m² K/W.

B.2.1 - Dati di partenza

Condotto fumi

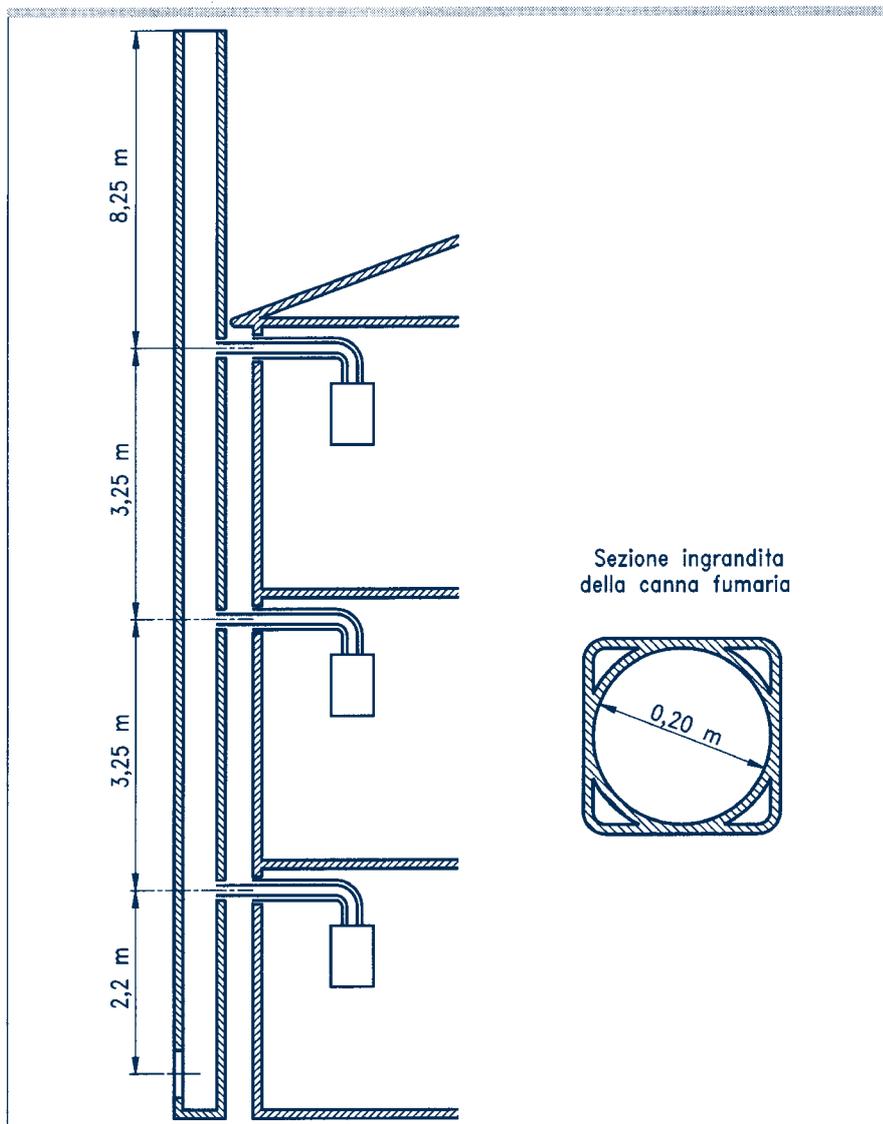
Grandezza	Unità di misura	Valore	Riferimento formule
n° piani		4	
temperatura ambiente	K	293,15	[3]
costante dell'aria	J/(kg K)	288	
capacità termica massica aria	J/(kg K)	1 004,6	
altezza geodetica	m	500	
pressione atmosferica	Pa	91 000	
massa volumica aria esterna	kg/m ³	1,08	[4]
coefficiente liminare esterna del condotto fumi	W/(m ² K)	11,7	[7]
coefficiente liminare esterna canali da fumo	W/(m ² K)	8	[7]
fattore per temperatura non costante	-	0,5	
coefficiente di sicurezza fluidodinamico	-	1,2	
potere calorifico inferiore	MJ/kg	50	
costante dei fumi	J/(kg K)	300	
configurazione	-	A	
forma sezione	-	Circol.	
sezione apertura di compensazione	m ²	0,01	
coefficiente di perdita localizzata apertura di compensazione	-	16	
coefficiente di perdita localizzata comignolo	-	1,4	
diametro interno del condotto fumi (vedere figura B.2)	m	0,2	
diametro esterno del condotto fumi	m	0,4	
rugosità del condotto fumi	m	0,003	
resistenza termica del condotto fumi	m ² K/W	0,28	
area interna del condotto fumi	m ²	0,031 4	
perimetro interno del condotto fumi	m	0,63	
diametro idraulico interno del condotto fumi	m	0,2	[5]
area esterna del condotto fumi	m ²	0,125 7	
perimetro esterno del condotto fumi	m	1,26	
diametro idraulico esterna del condotto fumi	m	0,25	[5]

4) - I dati usati in questo esempio sono tipici di una canna collettiva di conglomerato cementizio. L'esempio è applicabile anche ad altri materiali modificando opportunamente i dati di ingresso.

Condotto fumi

Grandezza	Unità di misura	Valore	Riferimento formule			
			1°	2°	3°	4°
piano		terra				
resistenza termica parete canali da fumo	m ² K/W		0,00	0,00	0,00	0,00
diametro interno canali da fumo	m		0,063	0,063	0,063	0,063
diametro esterno canali da fumo	m		0,065	0,065	0,065	0,065
altezza canali da fumo	m		0,14	0,14	0,14	0,14
rugosità canali da fumo	m		0,001	0,001	0,001	0,001
altezza piano Hp (vedere figura B.2)	m	2,2	3,25	3,25	3,25	8,25
portata termica	W		26 600	26 600	26 600	26 600
rendimento	%		90	90	90	90
eccesso d'aria	%		110	110	110	110
portata massica fumi	kg/s		0,020	0,020	0,020	0,020
temperatura fumi all'uscita apparecchio	K		408	408	408	408
capacità termica massica fumi all'uscita apparecchio	J/(kg K)		1 070	1 070	1 070	1 070
area interna canali da fumo	m ²		0,003 1	0,003 1	0,003 1	0,003 1
perimetro interno canali da fumo	m		0,20	0,20	0,20	0,20
diametro idraulico interno canali da fumo	m		0,063	0,063	0,063	0,063 [5]
area esterna canali da fumo	m ²		0,003 3	0,003 3	0,003 3	0,003 3
perimetro esterno canali da fumo	m		0,20	0,20	0,20	0,20
diametro idraulico esterno canali da fumo	m		0,065	0,065	0,065	0,065 [5]

Fig. B.2 - Disegno schematico della canna collettiva



B.2.2 - Risultati del calcolo

I risultati del calcolo evidenziano depressioni all'interno del condotto fumi, in corrispondenza degli innesti dei canali da fumo con valori da 1 Pa a 14 Pa in situazione di regime stazionario e con tre caldaie accese. Si può quindi dire che la canna fumaria presenta buone condizioni di funzionamento per la verifica del tiraggio nel caso 1. Per quanto riguarda i valori di velocità massima (relazione [45]), si ottiene che in canna fumaria il valore massimo risulta pari a 3,6 m/s. Di seguito si riporta l'ultima iterazione del calcolo con i risultati della verifica.

Canali da fumo

Grandezza	Unità di misura	Valore	Valore	Valore	Valore	Valore	Riferimento formule
piano		terra	1°	2°	3°	4°	
massa volumica media fumi	kg/m ³		0,76	0,76	0,76	0,76	[13]
velocità media fumi	m/s		8,49	8,49	8,49	8,49	[14]
n° di Reynolds	-		22 456	22 456	22 456	22 456	[16]
fattore di attrito ruvido	-		0,046	0,046	0,046	0,046	[15]
fattore di attrito liscio	-		0,025	0,025	0,025	0,025	[15]
n° di Nusselt	-		88	88	88	88	[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)		42	42	42	42	[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)		12	12	12	12	[22]
capacità termica massica fumi	J/(kg K)		1 040	1 040	1 040	1 040	
fattore di raffreddamento	-		0,12	0,12	0,12	0,12	[24]
temperatura fumi all'uscita	K		395	395	395	395	[26]
temperatura media fumi	K		401	401	401	401	[29]

Condotta fumi

Grandezza	Unità di misura	Valore	Valore	Valore	Valore	Valore	Riferimento formule
piano		terra	1°	2°	3°	4°	
portata massica fumi	kg/s	0,01	0,03	0,05	0,07	0,09	[10]
temperatura fumi all'ingresso	K	293	353	362	364	365	[12]
massa volumica fumi	kg/m ³	1,08	0,86	0,84	0,83	0,83	[13]
velocità media fumi	m/s	0,41	1,25	2,05	2,82	3,59	[14]
n° di Reynolds	-	4 884	11 958	19 031	26 105	33 178	[16]
fattore di attrito ruvido	-	0,052	0,047	0,046	0,045	0,045	[15]
fattore di attrito liscio	-	0,038	0,029	0,026	0,024	0,023	[15]
n° di Nusselt	-	18	47	74	101	127	[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)	5	7	11	15	19	[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)	3	3	4	4	5	[22]
capacità termica massica fumi	J/(kg K)	1 005	1 040	1 040	1 040	1 040	
fattore di raffreddamento	-	0,27	0,19	0,15	0,12	0,10	[24]
temperatura fumi all'uscita	K	293	343	353	356	358	[26]
temperatura media fumi	K	293	348	357	360	361	[29]
temperatura parete all'uscita	K	293	320	332	338	342	[42]
pressione statica	Pa	0	7	8	8	8	[33]
coefficiente perdita localizzata all'uscita	-		0,57	0,44	0,35	0,28	
perdita di carico fluidodinamico all'uscita	Pa		2	3	5	5	[17]
pressione effettiva all'ingresso	Pa	14	14	9	4	1	[34]
massimo errore di pressione all'ingresso	Pa	0,10					[35]

Nel caso 2 di cui in 8.1 (solo la caldaia più bassa funzionante a carico minimo pari a 10 kW, 0,020 kg/s e 72 °C all'uscita del generatore) la depressione all'imbotto del relativo canale da fumo nel condotto fumi risulta pari a 10 Pa.

Canali da fumo

Grandezza	Unità di misura	Valore	Valore	Valore	Valore	Valore	Riferimento formule
piano		terra	1°	2°	3°	4°	
massa volumica media fumi	kg/m ³		0,89				[13]
velocità media fumi	m/s		7,60				[14]
n° di Reynolds	-		23 579				[16]
fattore di attrito ruvido	-		0,046				[15]
fattore di attrito liscio	-		0,025				[15]
n° di Nusselt	-		93				[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)		44				[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)		12				[22]
capacità termica massica fumi	J/(kg K)		1 040				
fattore di raffreddamento	-		0,12				[24]
temperatura fumi all'uscita	K		339				[26]
temperatura media fumi	K		342				[29]

Condotto fumi

Grandezza	Unità di misura	Valore	Valore	Valore	Valore	Valore	Riferimento formule
piano		terra	1°	2°	3°	4°	
portata massica fumi	kg/s	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03	[10]
temperatura fumi all'ingresso	K	293	323	318	313	310	[12]
massa volumica fumi	kg/m ³	1,08	0,94	0,99	1,01	1,02	[13]
velocità media fumi	m/s	0,34	1,11	1,04	1,03	1,02	[14]
n° di Reynolds	-	4 123	11 550	11 550	11 550	11 550	[16]
fattore di attrito ruvido	-	0,053	0,047	0,047	0,047	0,047	[15]
fattore di attrito liscio	-	0,040	0,030	0,030	0,030	0,030	[15]
n° di Nusselt	-	14	45	45	45	45	[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)	5	7	7	7	7	[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)	3	3	3	3	3	[22]
capacità termica massica fumi	J/(kg K)	1 005	1 040	1 040	1 040	1 040	
fattore di raffreddamento	-	0,32	0,19	0,19	0,19	0,19	[24]
temperatura fumi all'uscita	K	293	318	313	310	307	[26]
temperatura media fumi	K	293	320	315	311	308	[29]
temperatura parete all'uscita	K	293	306	304	302	300	[42]
pressione statica	Pa	0	4	3	2	2	[33]
coefficiente perdita localizzata all'uscita	-		0,58	0,00	0,00	0,00	
perdita di carico fluidodinamico all'uscita	Pa		1	1	0	0	[17]
pressione effettiva all'ingresso	Pa	10	10	6	4	2	[34]
massimo errore di pressione all'ingresso	Pa	0,06					[35]

Nel caso 3 di cui in 8.1 (solo la caldaia più alta collegata, funzionante al massimo del carico) la depressione all'imbocco del canale da fumo nel condotto fumi risulta pari a 13 Pa.

Canali da fumo

Grandezza	Unità di misura	Valore	Valore	Valore	Valore	Valore	Riferimento formule
piano		terra	1°	2°	3°	4°	
massa volumica media fumi	kg/m ³					0,76	[13]
velocità media fumi	m/s					8,49	[14]
n° di Reynolds	-					22 456	[16]
fattore di attrito ruvido	-					0,046	[15]
fattore di attrito liscio	-					0,025	[15]
n° di Nusselt	-					88	[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)					42	[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)					12	[22]
capacità termica massica fumi	J/(kg K)					1 040	
fattore di raffreddamento	-					0,12	[24]
temperatura fumi all'uscita	K					395	[26]
temperatura media fumi	K					401	[29]

Condotto fumi

Grandezza	Unità di misura	Valore	Valore	Valore	Valore	Valore	Riferimento formule
piano		terra	1°	2°	3°	4°	
portata massica fumi	kg/s	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	[10]
temperatura fumi all'ingresso	K	293	293	293	293	355	[12]
massa volumica fumi	kg/m ³	1,08	1,08	1,08	1,08	0,85	[13]
velocità media fumi	m/s	0,38	0,38	0,38	0,38	1,23	[14]
n° di Reynolds	-	4 538	4 538	4 538	4 538	11 647	[16]
fattore di attrito ruvido	-	0,052	0,052	0,052	0,052	0,047	[15]
fattore di attrito liscio	-	0,038	0,038	0,038	0,038	0,030	[15]
n° di Nusselt	-	16	16	16	16	46	[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)	5	5	5	5	7	[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)	3	3	3	3	3	[22]
capacità termica massica fumi	J/(kg K)	1 005	1 005	1 005	1 005	1 040	
fattore di raffreddamento	-	0,29	0,29	0,29	0,29	0,19	[24]
temperatura fumi all'uscita	K	293	293	293	293	344	[26]
temperatura media fumi	K	293	293	293	293	349	[29]
temperatura parete all'uscita	K	293	293	293	293	320	[42]
pressione statica	Pa	0	0	0	0	15	[33]
coefficiente perdita localizzata all'uscita	-		0,01	0,00	0,00	0,57	
perdita di carico fluidodinamico all'uscita	Pa		0	0	1	1	[17]
pressione effettiva all'ingresso	Pa	12	12	12	13	13	[34]
massimo errore di pressione all'ingresso	Pa	0,07					[35]

Nei casi previsti in 8.2 e 8.3 (solo la caldaia più bassa funzionante al carico massimo con temperature esterne pari a 4 °C come risulta dal prospetto 1 per città del sud ad un'altezza maggiore di 200 m s.l.m.) la temperatura di uscita risulta pari a 38 °C e quindi maggiore del punto di rugiada (TR = 33 °C). Nelle condizioni suddette, la minima velocità nel condotto fumi risulta pari a 1,25 m/s a fronte di un valore limite, secondo 8.3, di 0,7 m/s.

Canali da fumo

Grandezza	Unità di misura	Valore	Valore	Valore	Valore	Valore	Riferimento formule
piano		terra	1°	2°	3°	4°	
massa volumica media fumi	kg/m ³		0,75				[13]
velocità media fumi	m/s		8,55				[14]
n° di Reynolds	-		22 456				[16]
fattore di attrito ruvido	-		0,046				[15]
fattore di attrito liscio	-		0,025				[15]
n° di Nusselt	-		88				[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)		42				[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)		7				[22]
capacità termica massica fumi	J/(kg K)		1 040				
fattore di raffreddamento	-		0,07				[24]
temperatura fumi all'uscita	K		400				[26]
temperatura media fumi	K		404				[29]

Condotto fumi

Grandezza	Unità di misura	Valore	Valore	Valore	Valore	Valore	Riferimento formule
piano		terra	1°	2°	3°	4°	
portata massica fumi	kg/s	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04	[10]
temperatura fumi all'ingresso	K	289	348	341	336	331	[12]
massa volumica fumi	kg/m ³	1,09	0,87	0,93	0,94	0,96	[13]
velocità media fumi	m/s	0,52	1,38	1,30	1,28	1,25	[14]
n° di Reynolds	-	6 289	13 362	13 362	13 362	13 362	[16]
fattore di attrito ruvido	-	0,050	0,047	0,047	0,047	0,047	[15]
fattore di attrito liscio	-	0,035	0,029	0,029	0,029	0,029	[15]
n° di Nusselt	-	24	52	52	52	52	[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)	5	8	8	8	8	[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)	2	2	2	2	2	[22]
capacità termica massica fumi	J/(kg K)	1 005	1 040	1 040	1 040	1 040	
fattore di raffreddamento	-	0,14	0,12	0,12	0,12	0,12	[24]
temperatura fumi all'uscita	K	289	341	336	331	320	[26]
temperatura media fumi	K	289	345	338	333	326	[29]
temperatura parete all'uscita	K	289	327	322	319	311	[42]
pressione statica	Pa	0	7	5	5	10	[33]
coefficiente perdita localizzata all'uscita	-		0,54	0,00	0,00	0,00	
perdita di carico fluidodinamico all'uscita	Pa		1	1	1	2	[17]
pressione effettiva all'ingresso	Pa	23	23	17	12	8	[34]
massimo errore di pressione all'ingresso	Pa	0,12					[35]

Dai risultati sopra riportati si può concludere che questa canna fumaria soddisfa ai criteri di verifica della presente norma, per funzionamento a secco.

B.3 - Canna fumaria collettiva combinata con condotti adiacenti⁵

L'esempio prende in esame una canna combinata con condotti adiacenti (vedere 6.1) di altezza totale pari a 12,5 m. I due condotti sono collegati alla base da un condotto di compensazione. La canna, installata all'esterno, è al servizio di 3 caldaie uguali, ubicate su piani diversi, aventi ciascuna portata termica unitaria pari a 26,6 kW. Il condotto fumi ha un diametro interno di 160 mm ed una resistenza termica pari a 0,44 m² K/W.

B.3.1 - Dati di partenza

Condotto fumi

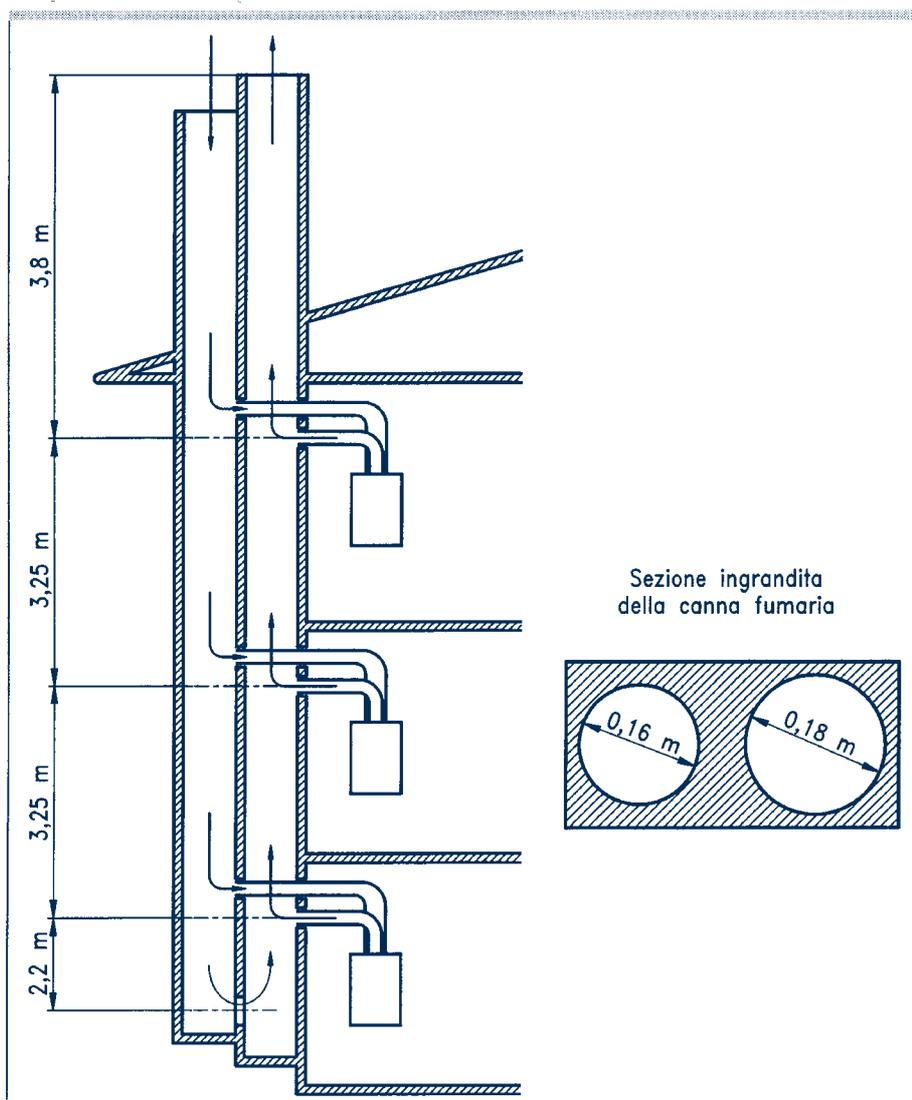
Grandezza	Unità di misura	Valore	Riferimento formule
n° piani		3	
temperatura ambiente	K	293,15	[3]
costante dell'aria	J/(kg K)	288	
capacità termica massica aria	J/(kg K)	1 004,6	
altezza geodetica	m	120	
pressione atmosferica	Pa	95 500	
massa volumica aria esterna	kg/m ³	1,13	[4]
coefficiente liminare esterno del condotto fumi	W/(m ² K)	23	[7]
coefficiente liminare esterno canali da fumo	W/(m ² K)	8	[7]
fattore per temperatura non costante	-	0,5	
coefficiente di sicurezza fluidodinamico	-	1,2	
potere calorifico inferiore	MJ/kg	50	
costante dei fumi	J/(kg K)	300	
configurazione	-	C	
forma sezione	-	Circolare	
sezione apertura del condotto di compensazione	m ²	0,01	
coefficiente di perdita localizzata del condotto compensazione	-	27	
diametro interno del condotto fumi (vedere figura B.3)	m	0,16	
diametro esterno del condotto fumi	m	0,3	
resistenza termica del condotto fumi	m ² K/W	0,44	
diametro interno del condotto aria (vedere figura B.3)	m	0,18	
diametro esterno del condotto aria	m	0,25	
rugosità condotti	m	0,001	
area interna del condotto fumi	m ²	0,020 1	
perimetro interno del condotto fumi	m	0,50	
area interna del condotto aria	m ²	0,025 4	
perimetro interno del condotto aria	m	0,57	

5) I dati usati in questo esempio sono tipici di una canna combinata di materiale refrattario. L'esempio è applicabile anche ad altri materiali modificando opportunamente i dati di ingresso

Canali da fumo

Grandezza	Unità di misura	Valore	Valore	Valore	Valore	Riferimento formule
piano		terra	1°	2°	3°	
resistenza termica parete canali da fumo	m ² KW		0,00	0,00	0,00	
diametro interno canali da fumo	m		0,063	0,063	0,063	
diametro esterno canali da fumo	m		0,065	0,065	0,065	
altezza canali da fumo	m		0,14	0,14	0,14	
sviluppo canali da fumo	m		2,07	2,07	2,07	
rugosità canali da fumo	m		0,001	0,001	0,001	
altezza piano	m	2,2	3,25	3,25	3,8	
portata termica	W		26 600	26 600	26 600	
rendimento di combustione	-		90	90	90	
eccesso d'aria	-		120	120	120	
portata massica fumi	kg/s		0,020	0,020	0,020	
temperatura fumi all'uscita apparecchio	K		416	416	416	
capacità termica massica fumi all'uscita apparecchio	J/(kg K)		1 070	1 070	1 070	
area interna canali da fumo	m ²		0,003 1	0,003 1	0,003 1	
perimetro interno canali da fumo	m		0,20	0,20	0,20	
diametro idraulico interno canali da fumo	m		0,063	0,063	0,063	[5]
area esterna canali da fumo	m ²		0,003 3	0,003 3	0,003 3	
perimetro esterno canali da fumo	m		0,20	0,20	0,20	
diametro idraulico esterno canali da fumo	m		0,065	0,065	0,065	[5]

Fig. B.3 - Disegno schematico di canna combinata



B.3.2 - Risultati del calcolo

I risultati del calcolo evidenziano depressioni all'interno del condotto fumi e differenza di tiraggio tra il condotto fumi e quello dell'aria, in corrispondenza degli innesti dei canali da fumo con valori compresi tra 4 Pa e 11 Pa e rispettivamente 1 Pa e 7 Pa, con le tre caldaie accese (8.1, caso 1). Per quanto riguarda i valori di velocità massima (relazione [45]), si ottiene che in canna fumaria il valore massimo risulta pari a 4 m/s. Di seguito si riporta l'ultima iterazione del calcolo con i risultati della verifica.

Canali da fumo

Grandezza	Unità di misura	Valore	Valore	Valore	Valore	Riferimento formule
piano		terra	1°	2°	3°	
massa volumica media fumi	kg/m ³		0,79	0,79	0,79	[13]
velocità media fumi	m/s		8,12	8,11	8,16	[14]
n° di Reynolds	-		22 456	22 456	22 456	[16]
fattore di attrito ruvido	-		0,046	0,046	0,046	[15]
fattore di attrito liscio	-		0,025	0,025	0,025	[15]
n° di Nusselt	-		88	88	88	[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)		42	42	42	[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)		12	12	12	[22]
capacità termica massica fumi	J/(kg K)		1 040	1 040	1 040	
fattore di raffreddamento	-		0,23	0,24	0,20	[24]
temperatura fumi all'uscita	K		390	390	394	[26]
temperatura media fumi	K		403	402	405	[29]

Condotto aria

Grandezza	Unità di misura	Valore	Valore	Valore	Valore	Riferimento formule
piano		terra	1°	2°	3°	
portata massica aria	kg/s	0,01	0,03	0,05	0,06	[10]
temperatura aria all'ingresso	K	293	293	293	293	[12]
massa volumica aria	kg/m ³	1,13	1,13	1,13	1,13	[13]
velocità media	m/s	0,27	0,93	1,59	2,25	[14]
n° di Reynolds	-	3 066	10 533	17 999	25 466	[16]
fattore di attrito ruvido	-	0,048	0,038	0,036	0,034	[15]
fattore di attrito liscio	-	0,043	0,030	0,027	0,024	[15]
n° di Nusselt	-	9	35	59	82	[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)	5	6	10	14	[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)	0	0	0	0	[22]
capacità termica massica aria	J/(kg K)	1 005	1 005	1 005	1 005	
fattore di raffreddamento	-	0,00	0,00	0,00	0,00	[24]
temperatura aria all'uscita	K	293	293	293	293	[26]
temperatura aria media	K	293	293	293	293	[29]
pressione statica	Pa	0	0	0	0	[33]

Nel caso 2 di cui in 8.1 (solo la caldaia più bassa funzionante a carico minimo pari a 8,9 kW, 0,020 kg/s e 67 °C all'uscita dal generatore) la depressione all'imbocco del relativo canale da fumo nel condotto fumi risulta pari a 8 Pa e la differenza di tiraggio tra il condotto fumi e quello dell'aria risulta pari a 7 Pa.

Condotto fumi

Grandezza	Unità di misura	Valore	Valore	Valore	Valore	Riferimento formule
piano		terra	1°	2°	3°	
portata massica fumi	kg/s	0,01	0,03	0,05	0,07	[10]
temperatura fumi all'ingresso	K	293	363	368	370	[12]
massa volumica fumi	kg/m ³	1,13	0,88	0,86	0,86	[13]
velocità media fumi	m/s	0,34	1,58	2,75	3,92	[14]
n° di Reynolds	-	3 450	12 292	21 134	29 976	[16]
fattore di attrito ruvido	-	0,047	0,038	0,036	0,035	[15]
fattore di attrito liscio	-	0,042	0,029	0,026	0,023	[15]
n° di Nusselt	-	10	42	70	97	[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)	5	8	13	18	[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)	2	3	3	3	[22]
capacità termica massica fumi	J/(kg K)	1 005	1 040	1 040	1 040	
fattore di raffreddamento	-	0,32	0,16	0,11	0,09	[24]
temperatura fumi all'uscita	K	293	353	361	363	[26]
temperatura media fumi	K	293	358	364	367	[29]
temperatura parete all'uscita	K	293	332	344	350	[42]
pressione statica	Pa	0	8	9	10	[33]
coefficiente perdita localizzata all'uscita	-		0,59	0,47	0,37	
perdita di carico fluidodinamico all'uscita	Pa		3	6	7	[17]
pressione effettiva all'ingresso del condotto fumi	Pa	11	11	6	4	[34]
pressione effettiva all'ingresso del condotto aria	Pa	- 4	- 4	- 4	- 3	[34]
verifica pressioni	Pa	7	7	2	1	[38]
massimo errore di pressione	Pa	0,1				[35]

Canali da fumo

Grandezza	Unità di misura	Valore	Valore	Valore	Valore	Riferimento formule
piano		terra	1°	2°	3°	
massa volumica media fumi	kg/m ³		0,93			[13]
velocità media fumi	m/s		6,93			[14]
n° di Reynolds	-		22 456			[16]
fattore di attrito ruvido	-		0,046			[15]
fattore di attrito liscio	-		0,025			[15]
n° di Nusselt	-		88			[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)		42			[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)		12			[22]
capacità termica massica fumi	J/(kg K)		1 040			
fattore di raffreddamento	-		0,23			[24]
temperatura fumi all'uscita	K		338			[26]
temperatura media fumi	K		344			[29]

Condotto aria

Grandezza	Unità di misura	Valore	Valore	Valore	Valore	Riferimento formule
piano		terra	1°	2°	3°	
portata massica aria	kg/s	0,01	0,03	0,03	0,03	[11]
temperatura aria all'ingresso	K	293	293	293	293	[12]
massa volumica aria	kg/m ³	1,13	1,13	1,13	1,13	[13]
velocità media	m/s	0,26	0,92	0,92	0,92	[14]
n° di Reynolds	-	2 943	10 410	10 410	10 410	[16]
fattore di attrito ruvido	-	0,049	0,038	0,038	0,038	[15]
fattore di attrito liscio	-	0,044	0,031	0,031	0,031	[15]
n° di Nusselt	-	8	35	35	35	[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)	5	6	6	6	[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)	0	0	0	0	[22]
capacità termica massica aria	J/(kg K)	1 005	1 005	1 005	1 005	
fattore di raffreddamento	-	0,00	0,00	0,00	0,00	[24]
temperatura aria all'uscita	K	293	293	293	293	[26]
temperatura aria media	K	293	293	293	293	[29]
pressione statica	Pa	0	0	0	0	[33]

Condotto fumi

Grandezza	Unità di misura	Valore	Valore	Valore	Valore	Riferimento formule
piano		terra	1°	2°	3°	
portata massica fumi	kg/s	0,01	0,03	0,03	0,03	[10]
temperatura fumi all'ingresso	K	293	326	321	317	[12]
massa volumica fumi	kg/m ³	1,13	0,98	1,03	1,05	[13]
velocità media fumi	m/s	0,34	1,41	1,33	1,32	[14]
n° di Reynolds	-	3 415	12 257	12 257	12 257	[16]
fattore di attrito ruvido	-	0,047	0,038	0,038	0,038	[15]
fattore di attrito liscio	-	0,042	0,029	0,029	0,029	[15]
n° di Nusselt	-	10	42	42	42	[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)	5	8	8	8	[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)	2	3	3	3	[22]
capacità termica massica fumi	J/(kg K)	1 005	1 040	1 040	1 040	
fattore di raffreddamento	-	0,32	0,16	0,16	0,18	[24]
temperatura fumi all'uscita	K	293	321	317	313	[26]
temperatura media fumi	K	293	323	319	315	[29]
temperatura parete all'uscita	K	293	311	308	306	[42]
pressione statica	Pa	0	5	3	3	[33]
coefficiente perdita localizzata all'uscita	-		0,59	0,00	0,00	
perdita di carico fluidodinamico all'uscita	Pa		1	1	1	[17]
pressione effettiva all'ingresso del condotto fumi	Pa	8,4	8,4	4,4	2,2	[34]
pressione effettiva all'ingresso del condotto aria	Pa	- 1,3	- 1,3	- 0,9	- 0,4	[34]
verifica pressioni	Pa	7,1	7,1	3,5	1,8	[38]
massimo errore di pressione	Pa	0,1				[35]

Canali da fumo

Grandezza	Unità di misura	Valore	Valore	Valore	Valore	Riferimento formule
piano		terra	1°	2°	3°	
massa volumica media fumi	kg/m ³				0,79	[13]
velocità media fumi	m/s				8,16	[14]
n° di Reynolds	-				22 456	[16]
fattore di attrito ruvido	-				0,046	[15]
fattore di attrito liscio	-				0,025	[15]
n° di Nusselt	-				88	[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)				42	[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)				12	[22]
capacità termica massica fumi	J/(kg K)				1 040	
fattore di raffreddamento	-				0,20	[24]
temperatura fumi all'uscita	K				394	[26]
temperatura media fumi	K				405	[29]

Condotto aria

Grandezza	Unità di misura	Valore	Valore	Valore	Valore	Riferimento formule
piano		terra	1°	2°	3°	
portata massica aria	kg/s	0,01	0,01	0,01	0,03	[11]
temperatura aria all'ingresso	K	293	293	293	293	[12]
massa volumica aria	kg/m ³	1,13	1,13	1,13	1,13	[13]
velocità media	m/s	0,25	0,25	0,25	0,91	[14]
n° di Reynolds	-	2 851	2 851	2 851	10 317	[16]
fattore di attrito ruvido	-	0,049	0,049	0,049	0,038	[15]
fattore di attrito liscio	-	0,044	0,044	0,044	0,031	[15]
n° di Nusselt	-	8	8	8	35	[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)	5	5	5	6	[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)	0	0	0	0	[22]
capacità termica massica aria	J/(kg K)	1 005	1 005	1 005	1 005	
fattore di raffreddamento	-	0,00	0,00	0,00	0,00	[24]
temperatura aria all'uscita	K	293	293	293	293	[26]
temperatura aria media	K	293	293	293	293	[29]
pressione statica	Pa	0	0	0	0	[33]

Nel caso 3 di cui in 8.1 (solo la caldaia più alta collegata, funzionante a carico massimo) la depressione all'imbocco del canale da fumo risulta pari a 9 Pa e la differenza di pressione tra i due condotti pari a 8 Pa.

Condotto fumi

Grandezza	Unità di misura	Valore	Valore	Valore	Valore	Riferimento formule
piano		terra	1°	2°	3°	
portata massica fumi	kg/s	0,01	0,01	0,01	0,03	[10]
temperatura fumi all'ingresso	K	293	293	293	366	[12]
massa volumica fumi	kg/m ³	1,13	1,13	1,13	0,87	[13]
velocità media fumi	m/s	0,34	0,34	0,34	1,59	[14]
n° di Reynolds	-	3 372	3 416	3 416	12 258	[16]
fattore di attrito ruvido	-	0,048	0,047	0,047	0,038	[15]
fattore di attrito liscio	-	0,042	0,042	0,042	0,029	[15]
n° di Nusselt	-	10	10	10	42	[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)	5	5	5	8	[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)	2	2	2	3	[22]
capacità termica massica fumi	J/(kg K)	1 005	1 040	1 040	1 040	
fattore di raffreddamento	-	0,32	0,47	0,47	0,18	[24]
temperatura fumi all'uscita	K	293	293	293	354	[26]
temperatura media fumi	K	293	293	293	360	[29]
temperatura parete all'uscita	K	293	293	293	332	[42]
pressione statica	Pa	0	0	0	10	[33]
coefficiente perdita localizzata all'uscita	-		0,02	0,00	0,59	
perdita di carico fluidodinamico all'uscita	Pa		0	1	1	[17]
pressione effettiva all'ingresso del condotto fumi	Pa	7,6	7,6	7,7	8,6	[34]
pressione effettiva all'ingresso del condotto aria	Pa	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	[34]
verifica pressioni	Pa	7,1	7,1	7,3	8,2	[38]
massimo errore di pressione	Pa	0,1				[35]

Nei casi previsti in 8.2 e 8.3 (solo la caldaia più bassa funzionante a carico massimo) con temperatura esterna pari a -5 °C come da prospetto 1) la temperatura di uscita risulta pari a 67 °C e quindi sicuramente maggiore del punto di rugiada. Nelle condizioni suddette, la minima velocità nel condotto fumi risulta pari a 0,84 m/s a fronte di un valore minimo secondo 8.3, di 0,67 m/s.

Canali da fumo

Grandezza	Unità di misura	Valore	Valore	Valore	Valore	Riferimento formule
piano		terra	1°	2°	3°	
massa volumica media fumi	kg/m ³		0,78			[13]
velocità media fumi	m/s		8,21			[14]
n° di Reynolds	-		22 456			[16]
fattore di attrito ruvido	-		0,046			[15]
fattore di attrito liscio	-		0,025			[15]
n° di Nusselt	-		88			[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)		42			[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)		7			[22]
capacità termica massica fumi	J/(kg K)		1 040			
fattore di raffreddamento	-		0,14			[24]
temperatura fumi all'uscita	K		399			[26]
temperatura media fumi	K		408			[29]

Condotto aria

Grandezza	Unità di misura	Valore	Valore	Valore	Valore	Riferimento formule
piano		terra	1°	2°	3°	
portata massica aria	kg/s	0,01	0,03	0,03	0,03	[11]
temperatura aria all'ingresso	K	286	286	286	286	[12]
massa volumica aria	kg/m ³	1,16	1,16	1,16	1,16	[13]
velocità media	m/s	0,41	1,05	1,05	1,05	[14]
n° di Reynolds	-	4 748	12 215	12 215	12 215	[16]
fattore di attrito ruvido	-	0,044	0,037	0,037	0,037	[15]
fattore di attrito liscio	-	0,038	0,029	0,029	0,029	[15]
n° di Nusselt	-	15	41	41	41	[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)	5	7	7	7	[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)	0	0	0	0	[22]
capacità termica massica aria	J/(kg K)	1 005	1 005	1 005	1 005	
fattore di raffreddamento	-	0,00	0,00	0,00	0,00	[24]
temperatura aria all'uscita	K	286	286	286	286	[26]
temperatura aria media	K	286	286	286	286	[29]
pressione statica	Pa	0	0	0	0	33

Condotto fumi

Grandezza	Unità di misura	Valore	Valore	Valore	Valore	Riferimento formule
piano		terra	1°	2°	3°	
portata massica fumi	kg/s	0,01	0,03	0,03	0,03	[10]
temperatura fumi all'ingresso	K	286	357	351	346	[12]
massa volumica fumi	kg/m ³	1,16	0,89	0,95	0,96	[13]
velocità media fumi	m/s	0,52	1,79	1,69	1,67	[14]
n° di Reynolds	-	5 364	14 206	14 206	14 206	[16]
fattore di attrito ruvido	-	0,043	0,037	0,037	0,037	[15]
fattore di attrito liscio	-	0,037	0,028	0,028	0,028	[15]
n° di Nusselt	-	18	48	48	48	[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)	5	9	9	9	[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)	2	2	2	2	[22]
capacità termica massica fumi	J/(kg K)	1 005	1 040	1 040	1 040	
fattore di raffreddamento	-	0,13	0,09	0,09	0,10	[24]
temperatura fumi all'uscita	K	286	351	346	340	[26]
temperatura media fumi	K	286	354	348	343	[29]
temperatura parete all'uscita	K	286	338	334	329	[42]
pressione statica	Pa	0	9	7	7	[33]

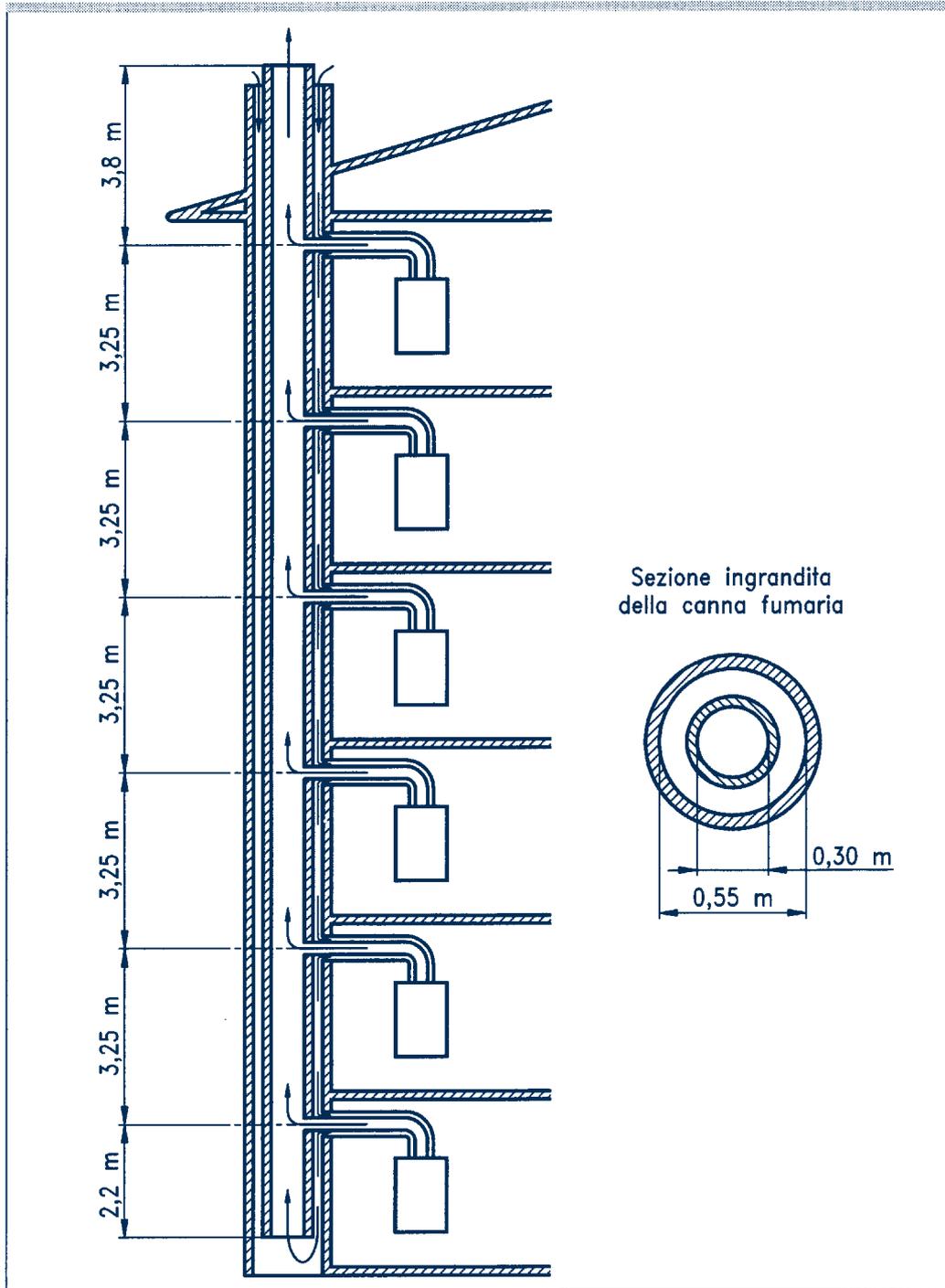
Dai risultati sopra riportati si può concludere che questa canna fumaria soddisfa ai criteri di verifica della presente norma, per funzionamento a secco.

B.4 - Canna combinata con condotti coassiali ⁶

L'esempio descrive il calcolo per una canna combinata con condotti coassiali (vedere 6.1) di altezza totale pari a 22,5 m. I due condotti sono collegati alla base da un condotto di compensazione. La canna, installata all'esterno, è al servizio di 6 caldaie uguali aventi ciascuna portata termica pari a 24 kW. La canna ha diametro interno di 30 cm e resistenza termica pari a 0,44 W/(m²K).

B.4.1 - Dati di partenza

Fig. B.4 - Rappresentazione schematica di canna combinata



6) I dati usati in questo esempio sono quelli tipici di una canna combinata con condotti coassiali in refrattario. L'esempio è applicabile anche ad altri materiali modificando opportunamente i dati di ingresso.

Condotto fumi

Grandezza	Unità di misura	Valore	Riferimento formule
n° piani		6	
temperatura ambiente	K	293,15	[3]
costante dell'aria	J/(kg K)	288	
capacità termica massica aria	J/(kg K)	1 004,6	
altezza geodetica	m	10	
pressione atmosferica	Pa	96 875	
massa volumica aria esterna	kg/m ³	1,15	[4]
coefficiente liminare esterno del condotto fumi	W/(m ² K)	23	[7]
coefficiente liminare esterno canali da fumo	W/(m ² K)	8	[7]
fattore per temperatura non costante	-	0,5	
coefficiente di sicurezza fluidodinamico	-	1,2	
potere calorifico inferiore	MJ/kg	50	
costante dei fumi	J/(kg K)	300	
configurazione	-	D	
forma sezione	-	Circolare	
sezione apertura condotto compensazione	m ²	0,01	
coefficiente perdita localizzata del condotto compensazione	-	26	
diametro interno del condotto fumi (vedere figura B.4)	m	0,30	
diametro esterno del condotto fumi	m	0,35	
resistenza termica del condotto fumi	m ² K/W	0,44	
diametro interno del condotto aria (vedere figura B.4)	m	0,55	
diametro esterno del condotto aria	m	0,55	
rugosità condotti	m	0,002	
area interna del condotto fumi	m ²	0,071	
perimetro interno del condotto fumi	m	0,94	
area interna del condotto aria	m ²	0,062 8	
perimetro interno del condotto aria	m	2,51	

Canali da fumo

Grandezza	Unità di misura	Valore terra	Valore 1°	Valore 2°	Valore 3°	Valore 4°	Valore 5°	Valore 6°	Riferimento formule
piano									
resistenza termica parete canali da fumo	m ² K/W		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
diametro interno canali da fumo	m		0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	
area interna canali da fumo	m ²		0,003 1	0,003 1	0,003 1	0,003 1	0,003 1	0,003 1	
perimetro interno canali da fumo	m		0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	
diametro esterno canali da fumo	m		0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	
altezza canali da fumo	m		0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	
sviluppo canali da fumo	m		2,07	2,07	2,07	2,07	2,07	2,07	
rugosità canali da fumo	m		0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	
altezza piano (vedere figura B.4)	m	2,2	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,8	
portata termica	W		24 000	24 000	24 000	24 000	24 000	24 000	
portata massica fumi	kg/s		0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	
temperatura fumi all'uscita dall'apparecchio	K		407	407	407	407	407	407	
capacità termica massica fumi all'uscita dall'apparecchio	J/(kg K)		1 070	1 070	1 070	1 070	1 070	1 070	

B.4.2 - Risultati del calcolo

I risultati del calcolo, secondo il caso 1 di cui in 8.1, evidenziano depressioni all'interno del condotto fumi, in corrispondenza degli innesti dei canali da fumo con valori compresi tra 5 Pa e 30 Pa e differenze di pressione tra i due condotti alle stesse altezze con valori compresi tra 3 Pa e 9 Pa con le tre caldaie accese. Per quanto riguarda i valori di velocità massima (relazione [45]), si ottiene che in canna fumaria il valore massimo risulta pari a 2,6 m/s. Di seguito si riporta l'ultima iterazione del calcolo con i risultati della verifica.

Canali da fumo

Grandezza	Unità di misura	Valore	Riferimento formule						
piano		terra	1°	2°	3°	4°	5°	6°	
massa volumica media fumi	kg/m ³		0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	[13]
velocità media fumi	m/s		5,85	5,85	5,85	5,85	5,85	5,85	[14]
n° di Reynolds	-		16 842	16 842	16 842	16 842	16 842	16 842	[16]
fattore di attrito ruvido	-		0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	[15]
fattore di attrito liscio	-		0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	[15]
n° di Nusselt	-		67	67	67	67	67	67	[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)		32	32	32	32	32	32	[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)		11	11	11	11	11	11	[22]
capacità termica massica fumi	J/(kg K)		1 040	1 040	1 040	1 040	1 040	1 040	
fattore di raffreddamento	-		0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	[24]
temperatura fumi all'uscita	K		380	380	380	380	380	380	[26]
temperatura media fumi	K		393	393	393	393	393	393	[29]

Condotta aria

Grandezza	Unità di misura	Valore	Riferimento formule						
piano		terra	1°	2°	3°	4°	5°	6°	
portata massica aria	kg/s	0,09	0,10	0,12	0,13	0,15	0,16	0,17	[11]
temperatura aria all'ingresso	K	328	326	322	317	310	303	293	[12]
massa volumica aria	kg/m ³	1,03	1,03	1,05	1,06	1,08	1,11	1,15	[13]
velocità media	m/s	1,25	1,43	1,61	1,77	1,91	2,05	2,15	[14]
n° di Reynolds	-	21 370	24 671	27 972	31 273	34 574	37 875	41 176	[16]
fattore di attrito ruvido	-	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	[15]
fattore di attrito liscio	-	0,025	0,025	0,024	0,023	0,023	0,022	0,022	[15]
n° di Nusselt	-	89	102	115	128	141	154	166	[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)	27	31	35	38	42	46	50	[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)	4	4	4	4	4	4	4	[23]
capacità termica massica aria	J/(kg K)	1 040	1 040	1 040	1 040	1 040	1 040	1 040	
fattore di raffreddamento	-	0,50	0,61	0,55	0,50	0,46	0,42	0,46	[25]
temperatura aria all'uscita	K	328	328	326	322	317	310	303	[27]
temperatura aria media	K	328	327	324	319	313	307	298	[31]
pressione statica	Pa	-3	-4	-3	-3	-2	-1	0	[33]

Condotto fumi

Grandezza	Unità di misura	Valore	Riferimento formule						
piano		terra	1°	2°	3°	4°	5°	6°	
portata massica fumi	kg/s	0,09	0,11	0,12	0,14	0,15	0,17	0,18	[10]
temperatura fumi all'ingresso	K	328	335	340	343	344	345	345	[12]
massa volumica fumi	kg/m ³	1,03	0,96	0,95	0,94	0,94	0,94	0,97	[13]
velocità media fumi	m/s	1,25	1,55	1,80	2,04	2,27	2,50	2,62	[14]
n° di Reynolds	-	21 369	24 905	28 442	31 979	35 516	39 052	42 589	[16]
fattore di attrito ruvido	-	0,036	0,036	0,036	0,035	0,035	0,035	0,035	[15]
fattore di attrito liscio	-	0,025	0,025	0,024	0,023	0,023	0,022	0,022	[15]
n° di Nusselt	-	71	83	93	104	115	125	136	[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)	0	8	9	10	11	13	14	[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)	0	3	3	3	3	3	3	[23]
capacità termica massica fumi	J/(kg K)	1 005	1 040	1 040	1 040	1 040	1 040	1 040	
fattore di raffreddamento	-	0,19	0,23	0,21	0,19	0,17	0,16	0,17	[25]
temperatura fumi all'uscita	K	328	334	338	341	342	342	341	[28]
temperatura media fumi	K	328	335	339	342	343	344	343	[30]
temperatura parete all'uscita	K	328	334	338	340	341	342	341	[42]
pressione statica	Pa	3	6	6	7	7	7	6	[33]
coefficiente perdita localizzata all'uscita	-		0,21	0,19	0,17	0,16	0,14	0,13	
perdita di carico fluidodinamico all'uscita	Pa		1	1	1	2	2	2	[17]
pressione effettiva all'ingresso del condotto fumi	Pa		30,0	25,0	19,8	14,6	9,6	4,7	[34]
pressione effettiva all'ingresso del condotto aria	Pa		- 20,7	- 16,4	- 12,2	- 8,3	- 4,8	- 1,9	[34]
verifica pressioni	Pa	9,3	9,3	8,6	7,7	6,4	4,8	2,8	[38]
massimo errore di pressione	Pa	0,1							[35]

Nel caso 2 di cui in 8.1 (la caldaia più bassa accesa al minimo carico pari a 15 kW, 0,015 kg/s e 29 °C all'uscita dal generatore) la depressione all'imbocco del relativo canale da fumo nel condotto fumi risulta pari a 20 Pa e la differenza di pressione tra i due condotti a quell'altezza pari a 7 Pa.

Canali da fumo

Grandezza	Unità di misura	Valore	Riferimento formule						
piano		terra	1°	2°	3°	4°	5°	6°	
massa volumica media fumi	kg/m ³		0,83						[13]
velocità media fumi	m/s		5,79						[14]
n° di Reynolds	-		16 842						[16]
fattore di attrito ruvido	-		0,047						[15]
fattore di attrito liscio	-		0,027						[15]
n° di Nusselt	-		67						[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)		32						[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)		11						[22]
capacità termica massica fumi	J/(kg K)		1 040						
fattore di raffreddamento	-		0,28						[24]
temperatura fumi all'uscita	K		376						[26]
temperatura media fumi	K		388						[29]

Condotto aria

Grandezza	Unità di misura	Valore	Riferimento formule						
piano		terra	1°	2°	3°	4°	5°	6°	
portata massica aria	kg/s	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	[11]
temperatura aria all'ingresso	K	321	318	315	311	306	301	293	[12]
massa volumica aria	kg/m ³	1,05	1,06	1,07	1,08	1,10	1,12	1,15	[13]
velocità media	m/s	1,05	1,23	1,21	1,20	1,18	1,16	1,13	[14]
n° di Reynolds	-	18 340	21 641	21 641	21 641	21 641	21 641	21 641	[16]
fattore di attrito ruvido	-	0,051	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	[15]
fattore di attrito liscio	-	0,026	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	[15]
n° di Nusseit	-	76	90	90	90	90	90	90	[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)	23	27	27	27	27	27	27	[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)	4	4	4	4	4	4	4	[23]
capacità termica massica aria	J/(kg K)	1 040	1 040	1 040	1 040	1 040	1 040	1 040	
fattore di raffreddamento	-	0,57	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,80	[25]
temperatura aria all'uscita	K	321	321	318	315	311	306	301	[27]
temperatura aria media	K	321	319	316	313	308	303	297	[31]
pressione statica	Pa	- 2	- 3	- 2	- 2	- 2	- 1	0	[33]

Condotto fumi

Grandezza	Unità di misura	Valore	Riferimento formule						
piano		terra	1°	2°	3°	4°	5°	6°	
portata massica fumi	kg/s	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	[10]
temperatura fumi all'ingresso	K	321	330	328	327	325	323	320	[12]
massa volumica fumi	kg/m ³	1,05	1,02	1,02	1,03	1,04	1,04	1,05	[13]
velocità media fumi	m/s	1,05	1,29	1,29	1,28	1,27	1,27	1,26	[14]
n° di Reynolds	-	18 443	21 979	21 979	21 979	21 979	21 979	21 979	[16]
fattore di attrito ruvido	-	0,037	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	[15]
fattore di attrito liscio	-	0,026	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	[15]
n° di Nusseit	-	62	73	73	73	73	73	73	[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)	0	7	7	7	7	7	7	[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)	0	3	3	3	3	3	3	[23]
capacità termica massica fumi	J/(kg K)	1 005	1 040	1 040	1 040	1 040	1 040	1 040	
fattore di raffreddamento	-	0,21	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,30	[25]
temperatura fumi all'uscita	K	321	328	327	325	323	320	317	[28]
temperatura media fumi	K	321	329	327	326	324	322	319	[30]
temperatura parete all'uscita	K	321	328	326	324	322	320	316	[42]
pressione statica	Pa	2	4	4	4	4	3	4	[33]
coefficiente di perdita localizzata all'uscita	-		0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
perdita di carico fluidodinamico all'uscita	Pa		0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	[17]
pressione effettiva all'ingresso del condotto fumi	Pa		19,8	16,2	12,7	9,3	6,1	3,2	[34]
pressione effettiva all'ingresso del condotto aria	Pa		- 12,9	- 9,6	- 6,5	- 4,0	- 1,9	- 0,5	[34]
verifica pressioni	Pa	7,0	6,9	6,6	6,1	5,4	4,2	2,7	[38]
massimo errore di pressione	Pa	0,1							[35]

Nel caso 3 di cui in 8.1 (solo la caldaia più alta collegata, funzionante al massimo del carico) la depressione all'imbocco del canale da fumo nel condotto fumi risulta pari a 3 Pa e così anche la differenza di pressione tra i due condotti a quell'altezza.

Canali da fumo

Grandezza	Unità di misura	Valore	Riferimento formule						
piano		terra	1°	2°	3°	4°	5°	6°	
massa volumica media fumi	kg/m ³							0,82	[13]
velocità media fumi	m/s							5,85	[14]
n° di Reynolds	-							16 842	[16]
fattore di attrito ruvido	-							0,047	[15]
fattore di attrito liscio	-							0,027	[15]
n° di Nusselt	-							67	[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)							32	[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)							11	[22]
capacità termica massica fumi	J/(kg K)							1 040	
fattore di raffreddamento	-							0,28	[24]
temperatura fumi all'uscita	K							380	[26]
temperatura media fumi	K							393	[29]

Condotto aria

Grandezza	Unità di misura	Valore	Riferimento formule						
piano		terra	1°	2°	3°	4°	5°	6°	
portata massica aria	kg/s	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	[11]
temperatura aria all'ingresso	K	300	300	300	301	301	302	293	[12]
massa volumica aria	kg/m ³	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,11	1,15	[13]
velocità media	m/s	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,75	[14]
n° di Reynolds	-	10 965	10 965	10 965	10 965	10 965	10 965	14 266	[16]
fattore di attrito ruvido	-	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,051	[15]
fattore di attrito liscio	-	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,028	[15]
n° di Nusselt	-	45	45	45	45	45	45	59	[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)	14	14	14	14	14	14	18	[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)	4	3	3	3	3	3	4	[23]
capacità termica massica aria	J/(kg K)	1 040	1 040	1 040	1 040	1 040	1 040	1 040	
fattore di raffreddamento	-	0,85	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,10	[25]
temperatura aria all'uscita	K	300	300	300	300	301	301	302	[27]
temperatura aria media	K	300	300	300	301	301	302	298	[31]
pressione statica	Pa	- 1	- 1	- 1	- 1	- 1	- 1	0	[33]

Condotto fumi

Grandezza	Unità di misura	Valore	Riferimento formule							
piano		terra	1°	2°	3°	4°	5°	6°		
portata massica fumi	kg/s	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	[10]	
temperatura fumi all'ingresso	K	300	300	300	300	300	300	320	[12]	
massa volumica fumi	kg/m ³	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,08	1,05	[13]	
velocità media fumi	m/s	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,62	0,84	[14]	
n° di Reynolds	-	11 120	11 120	11 120	11 120	11 120	11 120	14 657	[16]	
fattore di attrito ruvido	-	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039	0,038	[15]	
fattore di attrito liscio	-	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,028	[15]	
n° di Nusselt	-	38	38	38	38	38	38	50	[21]	
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)	5	5	5	5	5	5	5	[20]	
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)	2	2	2	2	2	2	2	[23]	
capacità termica massica fumi	J/(kg K)	1 005	1 005	1 005	1 005	1 005	1 005	1 040		
fattore di raffreddamento	-	0,31	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,41	[25]	
temperatura fumi all'uscita	K	300	300	300	300	300	300	315	[28]	
temperatura media fumi	K	300	300	300	300	300	300	317	[30]	
temperatura parete all'uscita	K	300	300	300	300	300	301	313	[42]	
pressione statica	Pa	1	1	1	1	1	2	4	[33]	
coefficiente perdita localizzata all'uscita	-		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32		
perdita di carico fluidodinamico all'uscita	Pa		0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	[17]	
pressione effettiva all'ingresso del condotto fumi	Pa		8,2	7,5	6,8	6,1	5,4	3,3	[34]	
pressione effettiva all'ingresso del condotto aria	Pa		- 5,6	- 4,6	- 3,6	- 2,6	- 1,5	- 0,3	[34]	
verifica pressioni	Pa		2,6	2,6	2,8	3,2	3,5	3,9	3,1	[38]
massimo errore di pressione	Pa		0,1						[35]	

Nei casi previsti in 8.2 e 8.3 (solo la caldaia più bassa funzionante al massimo carico con temperatura esterna pari a -5 °C come risulta dal prospetto 1) la temperatura di parete all'uscita risulta pari a 20 °C e quindi maggiore del punto di rugiada (TR = 10 °C a 15 °C). Nelle condizioni suddette, la minima velocità nel condotto fumi risulta pari a 1,4 m/s a fronte di un valore limite per il diametro in considerazione, secondo 8.3 di 1,2 m/s.

Canali da fumo

Grandezza	Unità di misura	Valore	Riferimento formule						
piano		terra	1°	2°	3°	4°	5°	6°	
massa volumica media fumi	kg/m ³		0,83						[13]
velocità media fumi	m/s		5,80						[14]
n° di Reynolds	-		16 842						[16]
fattore di attrito ruvido	-		0,047						[15]
fattore di attrito liscio	-		0,027						[15]
n° di Nusselt	-		67						[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)		32						[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)		11						[22]
capacità termica massica fumi	J/(kg K)		1 040						
fattore di raffreddamento	-		0,28						[24]
temperatura fumi all'uscita	K		374						[26]
temperatura media fumi	K		389						[29]

Condotto aria

Grandezza	Unità di misura	Valore	Riferimento formule						
piano		terra	1°	2°	3°	4°	5°	6°	
portata massica aria	kg/s	0,09	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	[11]
temperatura aria all'ingresso	K	296	293	290	286	281	275	268	[12]
massa volumica aria	kg/m ³	1,14	1,15	1,16	1,18	1,20	1,22	1,26	[13]
velocità media	m/s	1,18	1,34	1,32	1,30	1,28	1,25	1,22	[14]
n° di Reynolds	-	22 243	25 544	25 544	25 544	25 544	25 544	25 544	[16]
fattore di attrito ruvido	-	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	[15]
fattore di attrito liscio	-	0,025	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	[15]
n° di Nusselt	-	92	105	105	105	105	105	105	[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)	28	32	32	32	32	32	32	[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)	4	4	4	4	4	4	4	[23]
capacità termica massica aria	J/(kg K)	1 040	1 040	1 040	1 040	1 040	1 040	1 040	
fattore di raffreddamento	-	0,49	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,70	[25]
temperatura aria all'uscita	K	296	296	293	290	286	281	275	[27]
temperatura aria media	K	296	295	291	288	283	278	272	[31]
pressione statica	Pa	-3	-3	-3	-2	-2	-1	0	[33]

Condotto fumi

Grandezza	Unità di misura	Valore	Riferimento formule						
piano		terra	1°	2°	3°	4°	5°	6°	
portata massica fumi	kg/s	0,09	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	[10]
temperatura fumi all'ingresso	K	296	307	305	304	302	300	297	[12]
massa volumica fumi	kg/m ³	1,14	1,10	1,10	1,11	1,11	1,12	1,13	[13]
velocità media fumi	m/s	1,18	1,42	1,41	1,40	1,39	1,38	1,37	[14]
n° di Reynolds	-	22 339	25 876	25 876	25 876	25 876	25 876	25 876	[16]
fattore di attrito ruvido	-	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	[15]
fattore di attrito liscio	-	0,025	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	[15]
n° di Nusselt	-	75	86	86	86	86	86	86	[21]
coefficiente liminare interno	W/(m ² K)	0	9	9	9	9	9	9	[20]
coefficiente globale scambio termico	W/(m ² K)	0	3	3	3	3	3	3	[23]
capacità termica massica fumi	J/(kg K)	1 005	1 040	1 040	1 040	1 040	1 040	1 040	
fattore di raffreddamento	-	0,18	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,26	[25]
temperatura fumi all'uscita	K	296	305	304	302	300	297	294	[28]
temperatura media fumi	K	296	306	305	303	301	299	296	[30]
temperatura parete all'uscita	K	296	305	303	302	299	297	293	[42]
pressione statica	Pa	3	5	5	5	5	4	5	[33]
coefficiente perdita localizzata all'uscita	-		0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
perdita di carico fluidodinamico all'uscita	Pa		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	[17]
pressione effettiva all'ingresso del condotto fumi	Pa		24,9	20,4	16,0	11,8	7,8	4,1	[34]
pressione effettiva all'ingresso del condotto aria	Pa		-15,6	-11,6	-7,9	-4,8	-2,3	-0,6	[34]
verifica pressioni	Pa	9,4	9,3	8,8	8,1	7,0	5,5	3,4	[38]
massimo errore di pressione	Pa	0,1							[35]

Dai risultati sopra riportati si può concludere che questa canna fumaria soddisfa ai criteri di verifica della presente norma, per funzionamento a secco.