



Ricerca di Sistema elettrico

## Sviluppo di metodologie e strumenti di misura ed analisi dei consumi energetici degli edifici pubblici

A. Albo, F. Giustini, F. Gugliermetti, V. Sforzini

## SVILUPPO DI METODOLOGIE E STRUMENTI DI MISURA ED ANALISI DEI CONSUMI ENERGETICI DEGLI EDIFICI PUBBLICI

A. Albo, F. Giustini, F. Gugliermetti, V. Sforzini (Università di Roma Sapienza, Dipartimento di Ingegneria Astronautica, Elettrica ed Energetica -DIAEE)

Settembre 2014

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2013

Area C: Razionalizzazione e Risparmio nell'uso dell'energia elettrica

Progetto: Risparmio di energia elettrica nel settore civile, industria e servizi

Obiettivo: Edifici pubblici tipo, Indici di benchmark di consumo per tipologie di edificio ad uso ufficio e scuole, Applicabilità di tecnologie innovative e modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica

Responsabile del Progetto: Gaetano Fasano, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione " *Sviluppo di metodologie e strumenti di misura ed analisi dei consumi energetici degli edifici pubblici*"

Responsabile scientifico ENEA: Gaetano Fasano,

Responsabile scientifico DIAEE, Università di Roma Sapienza: Franco Gugliermetti

## Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
EFFICIENTAMENTO ENERGETICO MEDIANTE L'UTILIZZO DEL GAS.....	6
1.1    POTENZIALITÀ DI EFFICIENTAMENTO E CRITERI DI SICUREZZA PREVISTI.....	6
1.2    TECNICHE DI MISURA: I CONTATORI TRADIZIONALI E LO SMART METERING.....	7
1.3    INQUADRAMENTO NORMATIVO IN EUROPA.....	8
1.4    INQUADRAMENTO NORMATIVO IN ITALIA.....	8
1.5    STATO DELL'ARTE DEI SISTEMI DI SMART METERING DEL GAS.....	12
1.6    ESEMPI DI MISURATORI DI GAS DI NUOVA GENERAZIONE PRESENTI SUL MERCATO.....	15
1.6.1    Misuratori digitali.....	15
SMART METER G4 (RSE 2001) E G6 (RSE 2,4)[2].....	15
1.6.2    Misuratori analogici (ibridi).....	17
HYMETER G10 - G16 - G25 (HM 10 – 16 – 25) [2].....	17
1.7    POTENZIALITÀ E SVILUPPI FUTURI.....	18
1.8    SISTEMI INNOVATIVI PER LO SFRUTTAMENTO DEL GAS: APPARECCHIATURE E "PLUG'N PLAY".....	19
1.9    SISTEMA DI TAMPONATURA INTERNA PREFABBRICATA PER IL PASSAGGIO DELLA RETE IMPIANTISTICA: INWALL.....	22
1.9.1    Problematiche delle reti gas interne.....	23
1.9.2    Percorso delle tubazioni.....	23
1.9.3    Caratteristiche e tecnologia del sistema InWall.....	24
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	27
Introduzione alla parete ventilata.....	27
2.1.1    Generalità sulle sue applicazioni.....	27
2.1.2    Influenza dei parametri costruttivi sulla velocità dell'aria nell'intercapedine.....	28
2.1.3    Comportamento della parete ventilata in condizioni estive e invernali.....	28
2.1.4    Pareti debolmente e fortemente ventilate.....	29
2.2    TIPOLOGIE COSTRUTTIVE.....	31
2.2.1    Generalità.....	31
2.2.2    Edificio di nuova costruzione di tipo convenzionale: rivestimento in lastre lapidee[6].....	34
2.2.3    Edificio di nuova costruzione in legno: rivestimento in lastre composite sottili in lana di roccia[6].....	36
2.3    COMPORTEMENTO TERMO FLUIDO DINAMICO DELLA PARETE VENTILATA E IPOTESI PROGETTUALI.....	38
2.3.1    Generalità.....	38
2.3.2    Modello matematico dello scambio termico.....	38
2.3.3    Modello matematico del flusso d'aria.....	40
2.3.4    Modello matematico del flusso d'aria da letteratura.....	40
2.3.5    Analisi Parametrica della parete ventilata.....	40
2.3.5.1    Incidenza altezza parete.....	40
2.3.5.2    Incidenza Larghezza modulo.....	41
2.3.5.3    Incidenza fattore di Scabrezza.....	42
2.3.6    Analisi termo fluido dinamiche.....	43
2.3.6.1    Parete Standard.....	43
2.3.6.2    Modello di Parete con alloggiamento impianto.....	46
2.3.6.3    Dispersione di sostanze pericolose all'interno dell'intercapedine ventilata.....	50
2.3.7    Ipotesi progettuali sistema parete ventilata-rete di distribuzione gas.....	60
3 CONCLUSIONI.....	62
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	63
CURRICULUM SCIENTIFICO DEL DIAEE.....	63

## Sommario

L'Accordo di Programma stipulato tra Ministero dello Sviluppo Economico ed ENEA per lo svolgimento delle attività di ricerca indicate nel Piano Triennale 2012-2014 della Ricerca e Sviluppo di Interesse Generale per il Sistema Elettrico Nazionale, si inserisce all'interno di un più ampio programma di valorizzazione degli immobili di grandi volumetrie come quelli in uso alla Pubblica Amministrazione. In questo ambito l'obiettivo generale del lavoro presentato è quello di rendere reale l'ipotesi di poter utilizzare il gas naturale (G.N.) come unica fonte energetica sia per la climatizzazione dell'edificio, sia per l'alimentazione di gran parte delle apparecchiature elettromotrici utilizzate all'interno degli edifici, al fine di migliorare l'efficienza energetica degli immobili. In tale ambito il lavoro presentato riguarda un'analisi energetica relativa all'efficientamento di edifici con grandi volumi, inclusi gli edifici di particolare pregio, in uso alla Pubblica Amministrazione. Nel dettaglio, il lavoro focalizza l'attenzione sull'ideazione di un sistema innovativo di distribuzione del vettore gas, finalizzato all'alimentazione dei principali elettrodomestici con un elevato assorbimento elettrico. Tale sistema andrebbe a sostituire l'alimentazione elettrica per la forza elettromotrice, rendendo possibile l'utilizzo dell'energia elettrica limitatamente all'alimentazione degli apparecchi illuminanti ed delle utenze con basso assorbimento. Il sistema di distribuzione qui proposto è caratterizzato da un elevato grado di sicurezza e versatilità, in particolare l'alimentazione delle varie apparecchiature avverrà mediante tecnologia plug and play. L'installazione della rete di distribuzione del gas naturale sarà adeguata alle caratteristiche dei singoli edifici, in particolare nel caso di edifici di nuova costruzione è prevista l'installazione della rete gas all'interno di pareti ventilate opportunamente progettate, mentre nel caso di edifici di pregio si farà ricorso a pareti tecniche interne. L'intero sistema di distribuzione verrà monitorato mediante opportuni sistemi smart metering sia per la contabilizzazione dei consumi sia per il mantenimento di elevati livelli di sicurezza degli edifici stessi.

Il documento presentato è composto da una prima parte in cui si evidenzia le potenzialità dell'efficientamento energetico di immobili di grande volumetria mediante il vettore gas. In questa fase è descritto il sistema di distribuzione plug and play sopra introdotto. Successivamente, sono presentati lo stato dell'arte e le possibili soluzioni innovative dei sistemi di smart metering e delle pareti ventilate. Nel capitolo successivo, si analizza nel dettaglio il comportamento della parete ventilata sotto diversi aspetti e si evidenziano i criteri progettuali preliminari che meglio si adattano all'installazione di una rete di distribuzione gas naturale all'interno dell'intercapedine. Dallo studio presentato emerge come riguardo alle pareti ventilate è indispensabile mantenere un adeguato grado di ventilazione dell'intercapedine al fine di ridurre la probabilità di formazione di atmosfere esplosive. Tale obiettivo può essere perseguito sfruttando la convezione naturale e realizzando pareti con un'intercapedine proporzionale al livello di sicurezza richiesto. In questo ambito, dal compromesso tra i risultati delle analisi numeriche, esigenze realizzative e livelli di sicurezza emerge che uno spessore ottimale è compreso tra gli 8 e 10 cm. Maggiori dettagli progettuali possono derivare dalla validazione di tali risultanze con studi sperimentali. Nel caso in cui le condizioni termo igrometriche non risultino favorevoli, si prevede la realizzazione di un sistema di ventilazione forzata automatizzato. Ulteriori sistemi di sicurezza sono realizzati mediante interconnessione e intercomunicazione tra sistemi di smart metering, sensori di rilevazione gas naturale e sistemi domotici.

## 1 Introduzione

Nell'ambito della riduzione dei consumi energetici del settore civile, il settore pubblico gioca un ruolo fondamentale a causa delle volumetrie considerevoli di molti edifici. Tale aspetto è particolarmente evidente in Italia dove, in molti casi le diverse istituzioni pubbliche sono collocate in edifici storici di pregio di notevole dimensioni. In questo caso è particolarmente evidente come un'opera di efficientamento del sistema edificio-impianto contribuisca sensibilmente alla riduzione del dispendio energetico e limiti l'impatto ambientale legato al comparto pubblico. In questa ottica, le attività svolte all'interno del presente accordo di collaborazione tra Ministero dello Sviluppo Economico ed ENEA sono incentrate sullo sviluppo di un sistema di efficientamento degli edifici pubblici di grandi volumetrie mediante l'utilizzo del vettore gas. In particolare le attività presentate in questo documento, si riferiscono allo sviluppo di sistemi efficienti di distribuzione del vettore gas naturale per l'alimentazione di elettrodomestici caratterizzati da un elevato assorbimento elettrico. Unitamente a questo aspetto, vengono sviluppate le possibili soluzioni tecnologiche di smart metering evolute, al fine di monitorare i consumi e parallelamente garantire un controllo di eventuali dispersioni di gas. Sono inoltre prese in considerazione in questo documento, ulteriori soluzioni tecnologiche finalizzate al mantenimento di un elevato livello di sicurezza. Entrando nel dettaglio, il sistema di distribuzione del gas proposto, è dedicato all'alimentazione di utenze di tipo civile come sistemi di riscaldamento ed elettrodomestici. Un simile approccio è finalizzato all'incremento del consumo di gas naturale all'interno degli usi civili. In questo modo si intende ridurre il consumo di energia elettrica a vantaggio della risorsa gas, in coerenza con questo espresso nella Strategia Energetica Nazionale (SEN). L'alloggiamento del sistema di distribuzione avverrà all'interno di pareti ventilate oppure, dove non è possibile in pareti tecniche all'interno all'edificio. In questo ambito, nel documento è presentata un'analisi dettagliata sulle possibili configurazioni delle pareti ventilate al fine di ridurre il rischio di formazione di atmosfere esplosive. Una simile analisi è stata condotta mediante analisi parametriche e simulazioni termo fluidodinamiche realizzate mediante il codice di calcolo Ansys Fluent 6.3. Contestualmente a tale aspetto, si è inoltre investigato riguardo alle soluzioni tecnologiche di smart metering del gas e le loro possibili integrazioni con sistemi domotici ai fini dell'innalzamento del livello di sicurezza del sistema di distribuzione. Tale tecnologia è inoltre indispensabile per il monitoraggio dei consumi energetici dell'edificio. In questo ambito all'interno del lavoro sono presentate possibili soluzioni innovative che permettono l'integrazione del monitoraggio del consumo sia del combustibile sia dell'energia elettrica. Una simile integrazione permette un abbattimento dei costi di produzione di tali dispositivi rendendo realistica una loro ampia diffusione nel mercato.

## Efficientamento energetico mediante l'uso del Gas

### 1.1 Potenzialità di efficientamento e criteri di sicurezza previsti

Nell'ambito della riduzione dei consumi energetici e delle emissioni di gas serra prevista dalle direttive europee e dalle normative nazionali, un interesse particolare va dedicato all'efficientamento delle costruzioni civili di grandi volumetrie come ad esempio quelle utilizzate dalle Pubbliche Amministrazioni (P.A.) sia dedicati ad uso uffici sia destinati ad altri utilizzi come le caserme.

La Pubblica Amministrazione ha in uso un quantitativo di immobili difficile da censire. Per questo il MEF – Dipartimento del Tesoro, nel corso del 2010 ha avviato un progetto dal titolo "Patrimonio della PA", per la rilevazione annuale delle componenti dell'attivo delle Amministrazioni Pubbliche finalizzata alla redazione del Rendiconto patrimoniale a valori di mercato<sup>1</sup>, racchiudendone i risultati nel "Rapporto sui beni Immobili detenuti dalle Amministrazioni Pubbliche al 31 dicembre 2011". Tale progetto aveva lo scopo di orientare le decisioni di politica economica e per innescare un processo di valorizzazione e di sviluppo della redditività ma anche di rendere efficiente la gestione del patrimonio pubblico, con il fine di contenere il deficit e ridurre il debito pubblico, contribuendo, in definitiva, alla crescita economica del Paese. Questo documento riporta le rilevazioni dei beni immobili detenuti dalle Amministrazioni Pubbliche per gli anni 2010, 2011 e 2012<sup>2</sup> ed illustra le analisi condotte sui dati dichiarati dalle Amministrazioni Pubbliche relativi ai beni immobili detenuti al 31 dicembre 2011. Nel Rapporto sono quindi stati acquisiti dati da 6.458 Amministrazioni che rappresentano il 59% circa di quelle incluse nel perimetro di rilevazione.

Le dichiarazioni inviate sono relative a circa 634.000 unità immobiliari (per una superficie complessiva di oltre 300 milioni di metri quadrati) e 875.000 terreni (per una estensione di circa 1 milione e 700 mila ettari). I dati presentati nel Rapporto non devono perciò essere considerati esaustivi del patrimonio immobiliare pubblico in quanto il 40% circa delle Amministrazioni non ha effettuato alcuna dichiarazione e non tutte le Amministrazioni che hanno inviato i dati attraverso il Portale dedicato al Progetto hanno completato il censimento delle unità immobiliari e dei terreni detenuti.

Considerando che il patrimonio edilizio è responsabile di quasi la metà dei consumi energetici e delle emissioni di CO<sup>2</sup> nella UE, dal momento che questo dato tende ad aumentare costantemente, invece di diminuire con l'avvicinarsi dello scadere del tempo a disposizione degli Stati europei per far fede alle promesse fatte, il fatidico 2020 e dal momento che come abbiamo visto, nel nostro Paese il quantitativo di patrimonio edilizio in uso alle P.A. è considerevole, agire su queste grandi volumetrie può essere molto vantaggioso. Soprattutto nel rispetto delle più recenti integrazioni alle vecchie Direttive dell'Unione Europea in tema di riscaldamento climatico e sicurezza energetica della Comunità (EPBD 2002/91/CE - 2010/31/UE, ecc.).

Entro il 2018 infatti (2020 per i privati), tutti gli edifici ad uso pubblico di nuova costruzione, oltre a dover rispettare i requisiti minimi vigenti, devono presentare prestazioni energetiche ancora più elevate, per ridurre sia il consumo energetico sia le emissioni di biossido di carbonio e per far sì che sempre maggiore sia il numero di edifici a "consumi quasi zero" di energia.

In questa ottica, dal momento che nel nostro Paese sono sicuramente maggiori le volumetrie del costruito, rispetto agli edifici di nuova costruzione in uso alle P.A., il lavoro proposto si occupa dell'efficientamento energetico di tale comparto mediante l'utilizzo del gas naturale come fonte energetica principale. In altre parole, nel presente lavoro si incentra l'attenzione sulle potenzialità del gas naturale sia per gli usi tradizionali come il riscaldamento, sia per il funzionamento di elettrodomestici specificatamente predisposti. Prendendo in considerazione l'ultimo punto, è notevole sottolineare come già nei paesi anglosassoni sono presenti sul mercato elettrodomestici in grado di essere alimentati mediante Gas Naturale, una simile transizione porta inevitabilmente alla riduzione del consumo di energia elettrica a favore del consumo del Gas. Tale approccio è in linea con quanto descritto nella Strategia Energetica

<sup>1</sup>La rilevazione delle componenti dell'attivo delle Amministrazioni pubbliche è effettuata ai sensi dell'art. 2, comma 222, periodi undicesimo e seguenti della Legge n. 191 del 2009 (Legge Finanziaria 2010).

<sup>2</sup> Al momento della pubblicazione del documento era tuttavia in corso l'elaborazione dei dati comunicati dalle Amministrazioni per l'anno 2012 e non abbiamo trovato documenti successivi a questo, con dati aggiornati.

Nazionale, dove si sottolinea l'intenzione del Governo Italiano di sfruttare la propria posizione geografica al fine di diventare un crocevia per il futuro commercio di Gas tra l'Europa e le principali fornitrici presenti tra il Nord-Africa e il Medio Oriente. Tale obiettivo condurrà a benefici dal punto di vista di approvvigionamento di Gas, con un conseguente allineamento dei prezzi di tale combustibile con quelli dei restanti membri della Comunità Europea. Nel settore civile si avrà una riduzione del costo del G.N., in particolare tale vantaggio, come già è evidenziato dal mercato interno italiano, porterà benefici soprattutto per le utenze caratterizzate da un consumo considerevole di G.N. l'arco dell'anno, come ad esempio gli edifici pubblici di notevole dimensione. In queste utenze è auspicabile il passaggio all'unica fonte energetica costituita da G.N., in quanto il maggior consumo previsto porterà ad un abbattimento del costo unitario del combustibile. L'utilizzo di elettrodomestici azionati a G.N. comporterà una sensibile riduzione del consumo elettrico, il quale sarà destinato alle sole utenze (a ridotto assorbimento) per cui risulta indispensabile un azionamento elettrico (illuminazione e p.c., T.V. ed altre apparecchiature elettriche simili). Riguardo agli elettrodomestici dotati di un elevato assorbimento elettrico come lavatrici, lavastoviglie, pompe di calore elettriche, è prevista un'equivalente alimentazione a gas. Tali tecnologie sono, come già accennato, ampiamente collaudate e diffuse nei paesi anglosassoni. (esempi)

In questo ambito all'interno del presente lavoro si è incentrata l'attenzione sull'analisi dello stato dell'arte e sull'ideazione di sistemi di distribuzione del gas dedicati a tali utenze domestiche, sia per edifici di nuova costruzione sia per edifici esistenti. Il sistema analizzato prevede un sistema di distribuzione del gas all'interno degli edifici dotate di dispositivi di connessione "plug and play" grazie al quale l'elettrodomestico sarà facilmente connesso alla rete gas.

Un simile sistema di distribuzione è ideato in modo tale da mantenere i più alti standard di sicurezza nei confronti di atmosfere esplosive. Le scelte progettuali proposte consentono un'installazione semplice sia in edifici di nuova costruzione sia in edifici esistenti. Nel primo caso si prevede un'installazione delle tubazioni all'interno di parete ventilata, in cui la convenzione naturale unitamente a sistemi integrativi di ventilazione forzata garantiscono un livello di sicurezza intrinseco del sistema. Sono inoltre previsti sistemi di monitoraggio e controllo delle portate di gas consumato e di eventuali fughe al fine di ridurre la probabilità di formazione di atmosfere esplosive. Nel dettaglio dei sistemi di monitoraggio, i sistemi smart metering saranno opportunamente integrati con sensori di rilevazione di gas e con dispositivi di sicurezza automatizzati per l'interruzione dell'alimentazione di G.N. e dell'energia elettrica. L'eventuale dispersione di gas, sarà inoltre evacuata mediante l'attivazione di un opportuno sistema di ventilazione forzata, questo approccio può essere adottato sia per fughe di gas rilevate all'interno dell'intercapedine ventilata, in cui è alloggiata la rete di distribuzione, sia per fughe nell'ambiente interno dell'edificio.

Un simile strumento quindi permette sia il monitoraggio dei consumi sia l'individuazione di eventuali dispersioni di gas. Nel caso di edifici in cui non è applicabile la soluzione di parete ventilata, si prevede la realizzazione di una parete tecnica interna all'edificio in cui sarà alloggiata la rete di distribuzione del gas, tale soluzione è denominata "In-Wall".

Entrambe le soluzioni sono descritte nei paragrafi seguenti. Mentre nei capitoli successivi vengono analizzati nel dettaglio le specifiche dei sistemi di smart metering e le possibili soluzioni progettuali delle pareti ventilate nel caso specifico di installazioni della rete di distribuzione di gas all'interno dell'intercapedine ventilata.

## *1.2 Tecniche di misura: i contatori tradizionali e lo Smart Metering*

La storia dei contatori delle utenze è chiaramente strettamente legata a quella delle reti di distribuzione. L'esigenza di misurare i consumi degli utenti nasce quindi nel momento in cui la rete si è ramificata in modo sempre più capillare nel sistema urbano. Il contatore d'utenza è il terminale della rete che coincide con il punto di consegna della risorsa al consumatore.

Le reti più antiche sono quelle di distribuzione dell'acqua alle quali si sono susseguite nell'ordine quelle di distribuzione del gas e di elettricità.

Questo capitolo ha lo scopo di dare un quadro completo delle normative che si sono susseguite nel nostro Paese in tema di contatori avanzati del gas e di inquadrarle in ambito Europeo e mondiale.

Lo smart metering è uno strumento di controllo e misurazione dei consumi delle utenze che possa dialogare non solo con il consumatore ma anche con il distributore in modalità remota e successivamente essere addirittura parte integrante e fondamentale di una smart grid.

La misura è quindi uno strumento fondamentale per l'efficientamento energetico mediante il monitoraggio ed il controllo dei consumi e per una gestione "Smart" delle reti distributive e più in generale degli immobili.

Lo Smart Meter deve principalmente soddisfare dei requisiti di affidabilità e comunicazione: deve assicurare elevate prestazioni metrologiche con errori di misura minimi e sensibilità anche a bassi flussi ed assenza di decadimento prestazionale per usura; deve consentire la trasmissione bidirezionale in remoto, ossia la telelettura dei dati.

Questa innovazione, già avviata nel campo dell'energia elettrica, è il segno che c'è in atto un cambiamento che farà sì che gli "utility meter" siano uno strumento centrale nei sistemi di gestione delle reti di distribuzione e rappresentano un'opportunità di sviluppo per migliorarne il livello delle misurazioni e dei servizi.

L'occasione di rilancio dei contatori intelligenti offerta dalle normative che lo agevolano, per poter essere sostenibile sia da un punto di vista tecnico che economico, va inserita in un contesto multi-servizio, ossia va sviluppata congiuntamente nelle varie filiere dei servizi pubblici (acqua, elettricità, calore, gas, ecc.), sfruttando le sinergie tecnologiche tra i diversi sistemi di contabilizzazione.

### 1.3 Inquadramento normativo in Europa

- Direttiva 2009/73/EC (Terzo Pacchetto Energia): disposizioni in tema di misura intelligente nel gas e misure sulla tutela dei consumatori (Articolo 3, Allegato I);
- M/441 del 12 Marzo 2009: mandato di standardizzazione in campo di strumenti di misurazione per lo sviluppo di un'architettura aperta nei contatori delle utility. Da tale mandato si sono generate tre classi di misuratori che portano vantaggi sia ai consumatori che ai distributori favorendo la lettura dei propri dati, la fatturazione sulla base dei consumi reali, il cambio di fornitore, dando l'allarme in caso di consumi fuori dal consueto e soprattutto permettendo di interfacciarsi con i sistemi domotici. Le apparecchiature dei diversi Stati possono scegliere la soluzione tecnologica più adatta per le proprie esigenze e l'interoperabilità permetterà la fornitura di componenti da diversi fornitori anche in competizione.
- Direttiva 2006/32/CE: l'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici
- Direttiva 2004/22/EC: strumenti di misura (Allegato MI-002, contatori del gas e i dispositivi di conversione del volume)
- Direttiva 2012/27/UE che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE: efficienza energetica (q.31) "Per quanto riguarda l'energia elettrica, qualora l'introduzione dei contatori intelligenti sia reputata efficiente in termini di costi, almeno l'80 % dei consumatori deve essere dotato di contatori intelligenti entro il 2020. Per quanto riguarda il gas naturale, non è fornita alcuna scadenza, ma è richiesta l'elaborazione di un calendario."

### 1.4 Inquadramento normativo in Italia

L'Italia è l'unico tra i paesi europei ad aver definito il programma di installazione degli Smart Meters del gas per tutti i consumatori mediante la delibera 155/08 AEEG, ma nel complesso è necessario inquadrare l'argomento nel più ampio tema della contabilizzazione.

La **Direttiva 2004/22/EC** (MID), recepita in Italia mediante la pubblicazione su **G.U. n. 64 del 17/03/2007**, si caratterizza nel nostro Paese come una sorta di spartiacque all'interno del quadro normativo in campo di contabilizzazione dei consumi.

Fino al 2004 i contatori hanno conservato l'impostazione originaria che sfruttava le tecniche di misura meccaniche e dinamiche modificando nel tempo solo i materiali e la cura del design e gli standard dei contatori del gas "tradizionali" sono stati fino al 2004 classificati e normati mediante le seguenti:

- **UNI EN 1359** Misuratori di gas a membrana;
- **UNI EN 12480** Misuratori di gas a rotoidi;
- **UNI EN 12261** Misuratori di gas a turbina.

L'innovazione apportata nel 2004 è stata principalmente quella della liberalizzazione della tecnologia di misura, mediante l'introduzione del concetto che le misure effettuate devono essere eseguite mediante criteri standardizzati. In particolare viene fissato il «rispetto delle prestazioni metrologiche previste» (MPE: errore massimo ammissibile). A seguito di questa si è quindi approfondita la ricerca di contatori che sfruttino tecniche di misura statiche (per il gas prevalgono contatori ad ultrasuoni e contatori termomassici), questi sono particolarmente sensibili e permettono di avere misure molto accurate con la possibilità di ottenere anche le portate istantanee, così da poter monitorare in continuo l'andamento nel tempo dei consumi.

Stando a quanto detto nella **delibera 155/08 dell'AEEG** - Autorità per l'Energia Elettrica ed il Gas, nel 2011 sarebbe dovuta partire l'introduzione degli Smart Meter per il gas, per concretizzare le innovazioni proposte nel campo: la differenziazione delle tariffe su base stagionale e la tele-lettura dei consumi. A frenare questo processo che già sta rendendo il nostro Paese all'avanguardia nel settore a livello internazionale, era stata l'Autorità che ha reiteratamente fatto proroghe e deroghe alle scadenze iniziali, provocando una situazione di stallo inevitabilmente molto dannosa per le aziende che avevano voluto investire nello sviluppo ed industrializzazione di nuovi prodotti.

Il settore in Italia ha quindi avuto nello scorso anno una fase di stallo così come queste aziende.

Questo arresto, soprattutto per quanto riguarda l'applicazione di questa tecnologia al residenziale, è stato principalmente provocato da tre fattori: la crisi economica del settore delle Utility, una scarsa diffusione della cultura in materia ed una certa resistenza ai cambiamenti.

Come dichiarato anche dal Presidente del Gruppo Gas Static Smart Meters di ANIE, Diego Gajani, "Modalità più evolute e complete di misurazione del gas e dei diversi tipi di energia porteranno vantaggi anche all'utente, in termini di maggior trasparenza e valutazione puntuale ed immediata dei consumi – ha concluso Gajani – In questo contesto, il settore elettrico è sicuramente più avanzato rispetto al gas ed altri, ma la sua tecnologia ad oggi è ancora troppo poco sfruttata. L'obiettivo è quello di arrivare, con un maggiore impiego delle tecnologie elettroniche, a un modello comune di misura per tutte le energie, con più trasparenza nella fatturazione, maggiore possibilità di scelta per il cliente finale, possibili ottimizzazioni nella gestione reti, il tutto a vantaggio dell'utente: un principio fino a ieri impensabile con l'impiego dei prodotti e delle tecnologie tradizionali." [1]

La situazione sembra però essersi sbloccata con la deliberazione 27 dicembre 2013, **631/2013/R/GAS**, la quale richiede che i gruppi di misura attuali siano adeguati o sostituiti con nuovi dispositivi elettronici che lo dotino di funzioni di telelettura, telegestione e autolettura. Questo upgrade tecnologico ha l'obiettivo di consentire ai consumatori la consultazione dei consumi infondendo una maggiore consapevolezza nell'utilizzo delle risorse naturali ed ai distributori la lettura in remoto.

La Delibera 631/2013/R/GAS sostituisce la 155/08 ed è complementare alle direttive per la messa in servizio degli Smart Meters del gas, direttive che sono state modificate e ripubblicate appunto con la 631/13.

Alla base di queste normative c'è ad esempio la **Legge 99/2009**, primo provvedimento nazionale che ha determinato la durata quindicennale dei misuratori di gas domestici.

A far discutere gli operatori è stata l'approvazione del **DM 16 aprile 2012 n. 75** (pubblicato sulla G.U. n.132 del 8/6/2012), sulla disciplina delle verifiche periodiche sugli strumenti di misura del gas. Il problema è sorto per quei contatori con dispositivi di conversione integrati in quanto fino ad allora il misuratore di gas era separato dallo strumento di correzione della misura di alcuni fattori mentre oggi esistono soluzioni che li integrano in un solo dispositivo, per i quali non è prevista alcuna disposizione in materia.

Tale decreto ha determinato che:

i contatori gas con portata massima fino a ( $\leq$ ) ai 10m<sup>3</sup>/h sono esenti da verifica periodica; la validità temporale della marcatura metrologica è di 15 anni; questa categoria di contatori in Italia è al 100% rappresentata dai contatori a parete deformabile (meccanici, dinamici);

i contatori gas con portata massima superiore ai 10 m<sup>3</sup>/h devono essere verificati con la seguente periodicità:

entro 15 anni : i misuratori volumetrici a parete deformabile,

entro 10 anni: i misuratori a turbina e a rotoidi (o pistoni rotanti),

entro 5 anni per i misuratori basati su altre tecnologie.

Per i dispositivi di conversione del volume:

entro 4 anni : nel caso in cui i sensori di p e T sono parti integranti del dispositivo;

entro 2 anni : nel caso in cui i sensori di p e T sono elementi sostituibili con altri analoghi, senza che sia necessario modificare le altre parti del dispositivo.

Tempistiche Delibera **631/2013/R/GAS:**

Classe GdM	29/02/2012	31/12/2013	31/12/2014	31/12/2015	31/12/2018	
>G40		100% in servizio				
=G40			95% in servizio	100% in servizio		
G25 e G16			25% in servizio	60% in servizio	100% in servizio	
G10				15% in servizio	30% in servizio	
G6 (Imprese distributrici con numero clienti al 31 Dic. 2013 maggiore di 200.000 )				3% installato	3% in servizio 10% installato	60% in servizio
G6 (Imprese distributrici con numero clienti al 31 Dic. 2014 compreso tra 100.000 e 200.000 )					3% installato	

Riassumendo le principali normative in campo di Smart Meters del Gas in Italia:

- **AEEG del 22 ottobre 2008** – ARG/gas 155/08 per la telelettura e la telegestione dei gruppi di misura gas
- **Relazione tecnica AEEG della deliberazione 155/08**
- **Documento di consultazione AEEG del 19 Maggio 2011** – DCO 17/11 per la valutazione di possibili modifiche della regolazione tariffaria del servizio di misura sulle reti di distribuzione del gas
- **Documento di consultazione AEEG del 16 Giugno 2011** – DCO 22/11 sul servizio di bilanciamento del gas naturale: regolazione delle partite fisiche ed economiche (settlement);
- **Legge 23 luglio 2009, n. 99** “Disposizioni per lo sviluppo e l’internazionalizzazione delle imprese, nonché in materia di energia” – Art. 30 “Misure per l’efficienza del settore energetico”.
- **DM 16 aprile 2012 n. 75**, sulla disciplina delle verifiche periodiche sugli strumenti di misura del gas
- **AEEG del 27 dicembre 2013** - 631/2013/R/GAS per l’approvazione delle modifiche e integrazioni agli obblighi di messa in servizio degli Smart Meter del gas, in particolare di classe G4, G6 e G10.

Le normative tecniche:

- **UNI/TS 11291-1:2010**, Sistemi di misurazione del gas - Dispositivi di misurazione del gas su base oraria - Parte 1: Caratteristiche generali del sistema di telegestione o tele lettura  
Data entrata in vigore: 24 febbraio 2010  
Data ritiro: 23 maggio 2013  
Sommario: La specifica tecnica definisce l'architettura del sistema di telelettura o telegestione per i gruppi di misura delle reti di trasporto e distribuzione del gas introducendo prescrizioni relative alle funzioni minime che devono essere svolte dai dispositivi che lo compongono e che consentono la misura dei volumi di gas, la conversione dei volumi di gas alle condizioni termodinamiche di riferimento, la registrazione di dati di misura utili anche al bilanciamento delle reti di trasporto e distribuzione e la loro trasmissione a distanza.
- **UNI/TS 11291-2:2010**, Sistemi di misurazione del gas - Dispositivi di misurazione del gas su base oraria - Parte 2: Protocollo CTE  
Data entrata in vigore: 24 febbraio 2010  
Sommario: La specifica tecnica descrive le caratteristiche del protocollo CTE, definito dalla UNI/TS 11291-1 e destinato alla gestione locale e remota dei dispositivi. Il protocollo CTE permette di svolgere le funzioni di trasporto dati con maggiore efficienza e sicurezza rispetto a quanto oggi implementato, garantendo nel contempo la piena compatibilità col protocollo esistente utilizzato per la telegestione dei correttori di volume (non standard). L'uso del protocollo CTE permette sia la gestione degli apparati già installati da parte di nuovi centri, sia la gestione di apparati nuovi da parte di vecchi centri.
- **UNI/TS 11291-3:2010**, Sistemi di misurazione del gas - Dispositivi di misurazione del gas su base oraria - Parte 3: Protocollo CTR  
Data entrata in vigore: 24 febbraio 2010  
Data ritiro: 06 settembre 2012  
Sommario: La presente specifica tecnica descrive le caratteristiche del protocollo CTR, definito dalla UNI/TS 11291-1. Il protocollo è concepito in modo da svolgere le funzioni di trasporto dati con efficienza e sicurezza, considerando che esso venga implementato su apparati con limitate capacità elaborative e/o particolari sistemi di comunicazione, quali il GSM- SMS che impongono l'impiego di trame limitate in lunghezza.
- **UNI/TS 11291-4:2010**, Sistemi di misurazione del gas - Dispositivi di misurazione del gas su base oraria - Parte 4: Requisiti per gruppi di misura con portata >65m<sup>3</sup>/h (contatore >G40)  
Data entrata in vigore: 24 febbraio 2010  
Data ritiro: 07 febbraio 2013  
Sommario: La specifica tecnica stabilisce:
  - quali dati di misura debbano essere rilevati e registrati dai diversi dispositivi considerati;
  - le prestazioni minime che ciascuno dei dispositivi considerati deve garantire ed i requisiti costruttivi minimi cui deve rispondere per garantire dette prestazioni;
  - le adeguate modalità per la eventuale trasmissione a distanza dei dati di misura stabiliti;
  - le operazioni di manutenzione necessarie a garantire nel tempo le prestazioni specificate.La presente specifica tecnica si applica a dispositivi di misura del gas al servizio dei Punti di Riconsegna degli impianti di distribuzione aventi portata massima maggiore di 65 m<sup>3</sup>/h alle condizioni di riferimento o contatore >G40.
- **UNI/TS 11291-5:2010**, Sistemi di misurazione del gas - Dispositivi di misurazione del gas su base oraria - Parte 5: Requisiti per gruppi di misura con portata da 16 m<sup>3</sup>/h fino a 65 m<sup>3</sup>/h (contatore >=G10 e <=G40)  
Data entrata in vigore: 04 aprile 2013  
Sommario: La specifica tecnica stabilisce:
  - quali dati di misura debbano essere rilevati e registrati dai diversi dispositivi considerati;
  - le prestazioni minime che ciascuno dei gruppi di misura (GdM) considerati deve garantire e i requisiti costruttivi minimi cui deve rispondere per garantire dette prestazioni;
  - le adeguate modalità per la trasmissione a distanza dei dati di misura stabiliti;

- le operazioni di manutenzione necessarie a garantire nel tempo le prestazioni specificate.

La specifica tecnica si applica ai GdM al servizio dei Punti di Riconsegna degli impianti di distribuzione aventi portata massima compresa tra 16 m<sup>3</sup>/h e 65 m<sup>3</sup>/h alle condizioni termodinamiche di riferimento, entrambi gli estremi inclusi o contatore  $\geq G10$  e  $\leq G40$ .

- **UNI/TS 11291-6:2010**, Sistemi di misurazione del gas - Dispositivi di misurazione del gas su base oraria - Parte 6: Requisiti per gruppi di misura con portata minore di 10 m<sup>3</sup>/h (contatore MINOREG10)

Data entrata in vigore: 09 settembre 2010

Data ritiro: 04 aprile 2013

Sommario: La specifica tecnica stabilisce:

- quali dati di misura debbano essere rilevati e registrati dai diversi dispositivi considerati;
- le prestazioni minime che ciascuno dei GdM considerati deve garantire ed i requisiti costruttivi minimi cui deve rispondere per garantire dette prestazioni;
- le adeguate modalità per la trasmissione a distanza dei dati di misura stabiliti;
- le operazioni di manutenzione necessarie a garantire nel tempo le prestazioni specificate.

La specifica tecnica si applica ai GdM al servizio dei Punti di Riconsegna degli impianti di distribuzione aventi portata massima minore di 10 m<sup>3</sup>/h alle condizioni di riferimento o contatore MINOREG10. La specifica integra le disposizioni di cui alla UNI EN 13757-1 per gli aspetti legati al proprio campo di applicazione.

- **UNI/TS 11291-7:2010**, Sistemi di misurazione del gas - Dispositivi di misurazione del gas su base oraria - Parte 7: Sistemi di telegestione dei misuratori gas - SAC, Concentratori, Ripetitori e Traslatori

Data entrata in vigore: 20 gennaio 2011

Data ritiro: 23 maggio 2013

Sommario: La specifica tecnica specifica i requisiti costruttivi e funzionali dei dispositivi Concentratori, Ripetitori, SAC e Traslatori, definiti nella UNI/TS 11291-1 ed utilizzati nel sistema di telegestione finalizzato alla telelettura e alla telegestione dei dispositivi di misura del gas al servizio di Punti di Riconsegna delle reti di distribuzione.

- **UNI/TS 11291-8:2010**, Sistemi di misurazione del gas - Dispositivi di misurazione del gas su base oraria - Parte 8: Protocolli per la telegestione dei gruppi di misura per la rete di distribuzione

Data entrata in vigore: 24 febbraio 2010

Data ritiro: 23 maggio 2013

Sommario: La specifica tecnica definisce quali protocolli devono essere utilizzati per la comunicazione tra i componenti di un sistema di Telelettura o Telegestione di gruppi di misura del gas per assicurare la interoperabilità dei componenti stessi e la sicurezza e l'autenticità delle informazioni scambiate. La specifica tecnica si applica ai componenti del sistema per la telelettura o telegestione dei gruppi di misura per le reti di distribuzione gas.

- **UNI/TS 11291-10:2013**, Sistemi di misurazione del gas - Dispositivi di misurazione del gas su base oraria - Parte 10: Sicurezza

Data entrata in vigore: 14 febbraio 2013

Sommario: La specifica tecnica definisce le prescrizioni relative alla sicurezza dei dispositivi che sono utilizzati nella rete di telegestione e per la sicurezza dei dati che sono scambiati tra i dispositivi stessi. La specifica tecnica si applica agli elementi che compongono il sistema di telegestione, i cui requisiti costruttivi e funzionali sono definiti nella serie UNI/TS 11291.

### 1.5 Stato dell'arte dei sistemi di Smart Metering del gas

Riassumendo si può dire che gli Smart Meter, a differenza dai contatori tradizionali, non solo registrano le quantità delle risorse consumate ma i dettagli relativi a come, quando e quanto queste vengono consumate e per il soddisfacimento di ciò si basano su diverse unità:

- unità metrologica (modulo di misura vero e proprio)
- unità di memorizzazione (data-storage o data-logging)
- unità di comunicazione (trasmissione a distanza)
- unità di elaborazione (microprocessore)

i contatori elettronici di nuova generazione contengono un dispositivo di conversione volumetrica che consente la standardizzazione dei consumi oggetto di fatturazione da parte del fornitore. Questa conversione è possibile grazie all'acquisizione dei reali valori di pressione e temperatura ai quali il gas viene immesso nell'impianto dell'utenza.

Gli Smart Meter sono quindi dei misuratori che utilizzano un sensore che genera un segnale di misura primario di natura elettrica, analogico o digitale, che viene poi elaborato a seconda del sistema che utilizza. Esistono anche dei misuratori ibridi che utilizzano un sensore di misura di tipo meccanico tradizionale, questi hanno generalmente un segnale di misura primario di tipo meccanico analogico, il quale viene trasmesso alle seguenti unità di elaborazione elettronica del gruppo di misura. Le unità di memorizzazione, elaborazione e trasmissione a distanza sono quindi quelle che si possono definire di tipo "smart" in questo tipo di contatori.

Ad oggi i "Requisiti funzionali minimi per gruppi di misura di ogni classe" (631/2013/R/GAS – Allegato A, Art. 4) sono i seguenti:

- Fermi restando gli obblighi di omologazione e certificazione dei gruppi di misura del gas in materia di metrologia legale, immunità elettromagnetica e sicurezza, ai sensi delle leggi e delle norme vigenti, il presente articolo stabilisce i requisiti funzionali minimi comuni a tutti i gruppi di misura del gas, indipendentemente dalla classe di appartenenza.
- *Orologio/calendario* dei gruppi di misura. I gruppi di misura devono essere dotati di una funzione di orologio/calendario in grado di gestire i secondi e devono poter essere sincronizzati con frequenza tale da comportare una deriva massima mensile non superiore al limite espresso ai commi 5.3 e 6.2, con un riferimento unico a cura del soggetto responsabile del servizio di misura del gas.
- *Correzione di temperatura*. I gruppi di misura devono fornire la misura del gas prelevato a condizioni standard di temperatura.
- *Registro totalizzatore del prelievo*. I gruppi di misura devono permettere la misura del gas prelevato e la registrazione di tale misura in un registro totalizzatore unico incrementale.
- *Registri totalizzatori del prelievo per fasce multiorarie*. I gruppi di misura devono permettere la misura del gas prelevato e la registrazione di tale misura in almeno tre registri totalizzatori incrementali separati. I registri devono essere abilitabili alternativamente in un massimo di cinque intervalli temporali giornalieri. La tabella oraria di abilitazione dei diversi registri totalizzatori deve disporre di almeno tre tipi di articolazione, coesistenti e corrispondenti a:
  - a) giorno feriale;
  - b) sabato;
  - c) domenica e giorni festivi;e deve poter essere aggiornata almeno due volte nell'anno solare. La giornata del Santo Patrono assume l'articolazione del tipo di giorno in cui cade.

I gruppi di misura devono inoltre disporre dell'informazione che indichi in quale registro totalizzatore conteggiare il gas prelevato in caso di perdita del riferimento temporale di cui al comma 4.2.
- *Curva di prelievo*. I gruppi di misura devono consentire la registrazione del dato di prelievo su base temporale parametrizzabile, secondo quanto specificato ai commi 5.4 e 6.3 in un buffer circolare di profondità pari a 70 giorni.
- *Salvataggio dei registri totalizzatori del prelievo*. I gruppi di misura devono permettere il salvataggio dei registri totalizzatori del prelievo di cui ai commi 4.4 e 4.5 in opportuni registri non più modificabili sino al successivo salvataggio, con una frequenza parametrizzabile, al minimo semestrale e al massimo mensile. Il salvataggio dei registri totalizzatori di cui al presente comma deve essere effettuato anche in occasione dell'entrata in vigore di una nuova tabella oraria di abilitazione di cui al comma 4.5. I dati di prelievo di cui ai commi 4.4, 4.5 e 4.6 e di cui al presente comma devono essere preservati a seguito di sostituzione della batteria di alimentazione o di esaurimento della stessa.

- **Sicurezza dei dati di prelievo.** I gruppi di misura devono essere dotati di meccanismi di protezione e di controllo dei dati di prelievo di cui ai commi 4.4, 4.5 e 4.6. In caso di corruzione dei valori di tali registri, qualora non recuperabili da copie di back up, i gruppi di misura registrano l'allarme e lo rendono disponibile al centro di telegestione alla prima interrogazione o, qualora il sistema di comunicazione lo consenta, spontaneamente.
- **Diagnostica.** I gruppi di misura devono essere in grado di effettuare l'autodiagnosi per la verifica del corretto stato di funzionamento, inclusa la verifica del superamento della deriva massima mensile, e di registrare l'esito di tali operazioni in un'aparoletta di stato da rendere disponibile al centro di telegestione su richiesta di quest'ultimo. Ogni anomalia registrata deve essere segnalata al centro di telegestione alla prima interrogazione utile o, qualora il sistema di comunicazione lo consenta, spontaneamente.
- **Display.** I gruppi di misura devono essere dotati di display che consentano la visualizzazione, su richiesta del cliente, delle seguenti informazioni:
  - a) data e ora;
  - b) valore del registro totalizzatore corrente di cui al comma 4.4;
  - c) valore del registro totalizzatore di cui al comma 4.4 relativo all'ultimo salvataggio effettuato;
  - d) se abilitata la tabella oraria di cui al comma 4.5, valore dei registri totalizzatori correnti di cui al comma 4.5;
  - e) se abilitata la tabella oraria di cui al comma 4.5, valore dei registri totalizzatori di cui al comma 4.5 relativi all'ultimo salvataggio effettuato;
  - f) se abilitata la tabella oraria di cui al comma 4.5, il registro attivo al momento della visualizzazione;
  - g) allarme indicante la rilevazione da parte del gruppo di misura di una anomalia in esito alla funzione di protezione e controllo dei dati di prelievo di cui al comma 4.8 o alla esecuzione della funzione diagnostica di cui al comma 4.9.
- **Aggiornamento del software di programma dei gruppi di misura.** I gruppi di misura devono disporre della funzione di aggiornamento del software di programma, nel rispetto dei seguenti requisiti minimi:
  - a) i valori correnti e relativi all'ultimo salvataggio del registro totalizzatore di cui al comma 4.4 e, se abilitata la tabella oraria, dei registri totalizzatori di cui al comma 4.5, devono essere preservati;
  - b) durante l'aggiornamento del software di programma, il gruppo di misura deve gestire la funzione di orologio calendario di cui al comma 4.2, continuare a misurare e registrare il gas prelevato nel registro totalizzatore di cui al comma 4.4 e, se abilitata la tabella oraria, nei registri totalizzatori di cui al comma 4.5;
  - c) qualora durante l'aggiornamento del software i gruppi di misura non siano in grado di utilizzare correttamente la tabella di abilitazione di cui al comma 4.5 devono disporre, sempre ai sensi del comma 4.5, dell'informazione che indichi in quale registro totalizzatore conteggiare il gas prelevato.
- **Transazioni remote.** I gruppi di misura devono essere in grado di eseguire le seguenti transazioni remote:
  - a) lettura del valore del registro totalizzatore corrente di cui al comma 4.4 e del valore del registro totalizzatore di cui al comma 4.4 relativo all'ultimo salvataggio, ai sensi del comma 4.7;
  - b) abilitazione e modifica della tabella oraria di cui al comma 4.5;
  - c) lettura dei valori dei registri totalizzatori correnti di cui al comma 4.5 e dei valori dei registri totalizzatori di cui al comma 4.5 relativi all'ultimo salvataggio ai sensi del comma 4.7;
  - d) sincronizzazione dell'orologio/calendario di cui al comma 4.2; una volta messi in servizio i gruppi di misura devono essere sincronizzati almeno con la medesima frequenza di lettura dei dati di prelievo;
  - e) allarme inattendibilità, anche parziale, dei dati di prelievo di cui al comma 4.7;
  - f) lettura della parola di stato di cui al comma 4.8;
  - g) aggiornamento del software di programma, di cui al comma 4.11;
  - h) raccolta della curva di prelievo di cui al comma 4.6.

## 1.6 Esempi di misuratori di gas di nuova generazione presenti sul mercato

Si precisa che le immagini ed i prodotti qui presentati non vogliono essere esaustivi dell'offerta presente sul mercato ma vogliono solo dare un quadro delle soluzioni proposte da alcuni produttori.

### 1.6.1 Misuratori digitali



Figura 1 Gas Smart Meter: misuratori digitali

SMART METER G4 (RSE 2001) E G6 (RSE 2,4)[2]



Figura 2 RSE/2001 LA



Figura 3 RSE/2,4

I misuratori gas domestici della serie RSE fanno parte della nuova generazione di strumenti "smart" sviluppati e prodotti da SAMGAS e che rispettano i requisiti della delibera AEEG ARG/Gas 631/13. Questi integrano moduli elettronici di nuova generazione ai tradizionali misuratori. Il gruppo di misura è a membrane, sistema già ampiamente testato e molto affidabile anche nel tempo. Questi contatori sono certificati per resistere alle alte temperature ambiente (EN1359.6.5.5), per il loro sistema di cablaggio elettrico brevettato. Il sistema di trasmissione dal gruppo di misura alla scheda elettronica sfrutta un'interfaccia ad alta tecnologia con un efficiente sistema anti-manomissione che fornisce la massima garanzia di protezione contro eventuali tentativi di frode.

Questi misuratori dispongono di display grafico che permette di visualizzare i dati del gruppo di misura, di tastiera per la navigazione fra i menù nel rispetto delle norme UNI/TS 11291 e di un software che li controlla lungo tutta la scala di portata e di temperatura. La taratura degli stessi è eseguita mediante un sistema di calibrazione elettronica per garantire una precisione elevatissima.

Il modulo metrologico è alimentato mediante batteria dedicata non sostituibile, con autonomia > 15 anni. A seconda del sistema di trasmissione, la batteria del modulo di trasmissione può essere sostituibile o non. I

componenti elettronici hanno la caratteristica di ottimizzare il consumo energetico con lo scopo di ridurre (GSM) o eliminare (RADIO) il cambio della batteria di trasmissione.

Caratteristiche tecniche:

Classe di precisione (MID)	1** - 1,5
Portata	Da 0,04m <sup>3</sup> /h fino a 6m <sup>3</sup> /h (RSE/2001) * Da 0,06m <sup>3</sup> /h fino a 10m <sup>3</sup> /h (RSE/2,4) *
Gas misurabile	Gas naturale, GPL
Corpo	Stampato in lamiera di acciaio zincato
Verniciatura	Verniciatura a polvere di poliestere cotta in forno a 200 °C
Valvola	Valvola a sfera integrata, a passaggio totale
Pressione massima	0,5 bar
Temperatura di lavoro	-25°C ÷ +55°C
Temperatura alle condizioni base	15°C
Perdita di carico a portata massima	≤ 2 mbar
Attacco filettato	1"1/4 ISO 228
Grado di protezione IP	IP55
Interfaccia Icale	Porta ottica infrarossa ZVEI in accordo alla norma EN 62056-21
Modulo di trasmissione (alternativamente)	Wireless M-Bus 169Mhz mode-N, 868Mhz (GPL), GSM/GPRS
Protocollo di comunicazione punto-multipunto	in accordo alla UNI/TS 11291-11
Protocollo di comunicazione punto-punto	in accordo alla UNI/TS 11291-11 DLMS/COSEM
Atex	Zone 2 II 3G Ex ic IIB T3 Gc
Firmware	Aggiornabile da remoto
Vita utile delle batterie (alle normali condizioni di riferimento)	Batteria Metrologica: > 15 anni Batteria Trasmissione Radio: > 15 anni Batteria Trasmissione GPRS: > 5 anni

\* A richiesta da 0,016 m<sup>3</sup>/h a 6 m<sup>3</sup>/h per RSE/2001 LA

\* A richiesta da 0,04 m<sup>3</sup>/h a 10 m<sup>3</sup>/h per RSE/2,4

\*\* A richiesta classe di precisione 1

### 1.6.2 Misuratori analogici (ibridi)



**Figura 4 Gas Smart Meter: misuratori analogici (ibridi)**

*HYMETER G10 - G16 - G25 (HM 10 – 16 – 25) [2]*



**Pietro Fiorentini S.p.A..**

**Figura 5 HM 10 – 16 – 25**

*HyMeter* (fig. 5) è un contatore per uso commerciale che sfrutta la tecnologia ibrida combinando le caratteristiche elettroniche di nuova generazione ad un meccanismo di misura a membrana. Questo tipo di contatore sostituisce il totalizzatore meccanico con un totalizzatore elettronico munito di dispositivo di trasmissione dati ed un sistema di upgrade del firmware da remoto. In particolare *HyMeter HM10-16-25* incorpora inoltre un sensore di temperatura e pressione per compensare il volume del gas misurato.

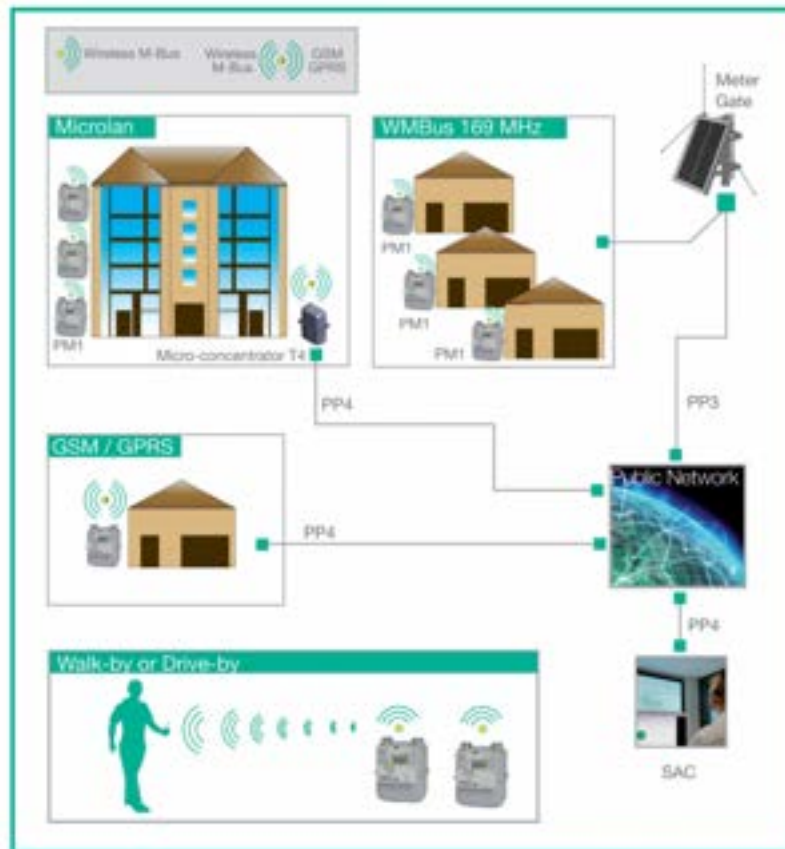
Caratteristiche tecniche:

Conversione dei volumi	Elettronica Conforme alla EN 12405 (sia PTZ che PT) e ISO 12213-3
Conformità	Direttiva CE 2004/22/EC MID ; MI-002
	Ai requisiti ARG155/08 (e s.m.i.) ed UNI-TS11291 (per mercato Italia)
Certificazione	MID rilasciata da NMI Certin B.V.
Conformità agli standard Europei	EN 1359:1998 e OIML R137-1 & 2:2012
ATEX	Zona1 - Adatto ad installazioni in area pericolosa
Grado di protezione IP	IP65
Temperatura metrologica	-25°C ÷ +55°C
Pressione massima di esercizio	500 mbar
Modulo metrologico	Batteria al litio con autonomia >15 anni
Modulo di comunicazione	Batteria al litio-cloruro di tionile con autonomia >5 anni
Totalizzatore	Elettronico LCD "User Friendly"
Interfaccia utente	Tramite pulsante multifunzione
Configurazione	Tramite interfaccia ottica (Standard IEC61107)
Comunicazione	GSM/GPRS (a richiesta Wireless M-Bus 169MHz o 868MHz)
Protocollo di comunicazione	CTR R131
Aggiornamento	Firmware da remoto secondo WELMEC 7
Interasse e ingombri standard per sostituzione di contatori obsoleti	
Ritrasmissione impulsiva/seriale dei volumi all'utente finale	

### 1.7 Potenzialità e sviluppi futuri

Alla luce di quanto detto fin qui, si evince che negli anni a venire i sistemi di contabilizzazione del gas dovranno essere sempre più efficienti e dotati di tecnologie sempre più avanzate, anche per l'integrazione degli stessi ai sistemi di domotica.

Tali tecnologie e sistemi, oltre alla maggiore affidabilità della misura, per una valutazione dei consumi e dei costi sempre più precisa, fanno sì che una facile lettura e comunicazione anche a distanza, porti ad un diretto controllo dei consumi, con il fine di responsabilizzare maggiormente gli utenti finali, nell'ottica del risparmio energetico e di un consapevole utilizzo delle risorse naturali. fig. 6)



**Figura 6 Potenzialità di monitoraggio e controllo dei consumi**

Lo sviluppo degli Smart Meters del Gas potrà rendere possibile l'integrazione dei sistemi di monitoraggio dei consumi con quelli di rilevamento di eventuali dispersioni, segnalazione ed innesco di sistemi di sicurezza: evacuazione di fughe di gas, interruzione dell'erogazione del gas e/o dell'elettricità, sistemi di ventilazione forzata per l'evacuazione di gas(all'interno dell'intercapedine o degli ambienti), per permettere l'abbattimento del rischio di esplosioni connesse alla formazione di atmosfere esplosive.

La tendenza all'ammodernamento dei contabilizzatori, scaturita dalle normative nazionali e sovranazionali in merito, può essere maggiormente vantaggiosa se i misuratori dei diversi flussi energetici potessero dialogare tra loro creando un'interconnessione diretta tra le diverse reti energetiche, per un monitoraggio e controllo globale dei consumi.

Dal punto di vista tecnologico, l'architettura di questi sistemi sarebbe sicuramente più complessa, ma ne scaturirebbero notevoli vantaggi economici, sia per l'abbattimento dei costi di produzione che per il risparmio energetico; inoltre si creerebbe un'imperdibile occasione di sviluppo per questo settore produttivo.

### **1.8 Sistemi innovativi per lo sfruttamento del gas: apparecchiature e "plug'n play"**

Nell'ambito dell'utilizzo del gas per l'alimentazione di apparecchiature di uso comune all'interno di ambienti domestici, un forte contributo è stato fornito dal Gruppo Cavagna[3], leader mondiale nella produzione di apparecchiature e componenti principali per il controllo di gas compressi, che ha sviluppato alcuni prodotti di notevole interesse per questa ricerca. Oltre allo sviluppo tecnologie per il controllo e la regolazione del gas, questo Gruppo ha sviluppato soluzioni estremamente avanzate per l'utilizzo del gas negli ambienti domestici, mediante l'ideazione di apparecchiature ed elettrodomestici ad elevato assorbimento che possono essere alimentati da G.N. permettendone l'utilizzo anche in zone dove l'elettricità non è disponibile o le reti elettriche sono inaffidabili.


Queste apparecchiature si possono distinguere in quelle a prevalente utilizzo da interno o da esterno.

Applicazioni outdoor:

	<p><b>CUCINARE ALL'APERTO</b> Cucine e barbecue da esterni.</p>
	<p><b>RISCALDARE GLI AMBIENTI ESTERNI</b> Questi sistemi di riscaldamento sono sicuri (rilevatori di CO<sup>2</sup> integrati), affidabili e garantiscono un risparmio energetico del 30% e un risparmio di emissioni di CO<sup>2</sup> fino al 80%</p>
	<p><b>ALLONTANARE GLI INSETTI</b> È disponibile una vasta gamma di dispositivi di allontanamento delle zanzare.</p>
	<p><b>CURARE IL PRATO</b> -apparecchiature domestiche -apparecchiature commerciali</p>
	<p><b>RISCALDARE LE PISCINE</b> Queste apparecchiature che permettono di estendere l'uso della piscina alle stagioni più fredde sono caratterizzate da una installazione semplice e a bassi costi.</p>
	<p><b>PRODURRE ENERGIA</b> Generatori di energia elettrica portatili e compatti utilizzabili per applicazioni domestiche o commerciali.</p>

	<p><b>LAVAGGIO A PRESSIONE</b> Idropultrici utilizzabili per applicazioni domestiche, commerciali e industriali. Potenti, con uscite di pressione dell'acqua che varia da 2000 psi (modelli da interno) a 3500 psi (modelli commerciali e industriali), affidabili, sicure (senza l'uso di cavi elettrici), più durevole e soprattutto ecologico.</p>
	<p><b>POMPAGGIO DELL'ACQUA</b> Utilizzato principalmente per lo stoccaggio di acqua di riserva e per scopi agricoli.</p>
	<p><b>MICRO-COGENERAZIONE (CHP)</b> Sistemi di micro-cogenerazione che permettono di produrre in modo combinato energia elettrica e termica per uso domestico.</p>

Applicazioni indoor:

	<p><b>RISCALDARE GLI AMBIENTI INTERNI</b> Questi sistemi di riscaldamento sono sicuri (rilevatori di CO<sup>2</sup> integrati), affidabili e garantiscono un risparmio energetico del 30% e un risparmio di emissioni di CO<sup>2</sup> fino al 80%</p>
---	---

	<p><b>REFRIGERARE</b>                  Frigoriferi domestici che permettono di mantenere gli alimenti refrigerati/congelati anche in caso di blackout prolungati.</p>
	<p><b>CUCINARE AL CHIUSO</b>                  Piani cottura da interni.</p>
	<p><b>ASCIUGARE GLI INDUMENTI</b>                  Le asciugatrici sono una delle più recenti applicazioni per il gas.</p>

Il Gruppo Cavagna ha inoltre sviluppato un innovativo sistema di connessione domestica per il gas. Tale sistema detto “plug and play” per la semplicità del suo utilizzo, dà una soluzione tecnica di design ad un problema di ordine pratico. Si tratta di un dispositivo di collegamento di nuova concezione progettato per essere incorporato a secco nel muro delle abitazioni(a condizione che vi sia sufficiente ventilazione) o sulla parte esterna della casa, permettendo ai consumatori di portare il gas in qualsiasi ambiente domestico e di collegarvi semplicemente qualsiasi apparecchio alimentabile a G.N..

Il “plug and play” è disponibile anche in versione da incasso per esterni.

Il sistema “plug and play” garantisce un'alimentazione degli elettrodomestici versatile e di facile applicabilità.



Figura 7 Sistema "plug and play"

### 1.9 Sistema di tamponatura interna prefabbricata per il passaggio della rete impiantistica: InWall

Il settore del recupero del patrimonio edilizio anche in termini di riqualificazione energetica, rappresenta circa il 60-70% del settore edilizio, con una previsione di crescita costante fino all'80% nel 2020(fonte CRESME). A tale aspetto si correla la riflessione aperta sul risparmio di risorse e di materie prime, indotta dalla necessità di non disperdere quella parte di energia che è stata inizialmente impiegata per la costruzione e non risulta ancora completamente ammortizzata. Pertanto appare indispensabile raffinare

metodologie e processi edilizi in grado di “rivitalizzare” gli edifici storici con soluzioni all’avanguardia. La riqualificazione energetica del patrimonio storico richiede competenze specifiche per salvaguardare l’immagine architettonica esterna senza rinunciare all’applicazione di tecnologie innovative per il comfort interno. In linea con quest’ottica il lavoro svolto fornisce una metodologia di progettazione e realizzazione in grado di integrare saperi e tecnologie (tradizionali e/o innovative), alla ricerca di soluzioni concrete nel settore della riqualificazione degli edifici esistenti (preferibilmente storici). Un settore dove attualmente l’edilizia a secco, un mercato in forte espansione nelle nuove costruzioni, è oggetto di un sempre maggiore interesse. L’innovazione del processo consente di superare il concetto tradizionale di demolizione, connesso alla produzione di materiale inquinante e spesso inutilizzabile, verso un processo reversibile, su cui si basa la tecnologia stratificata a secco. Una tecnologia basata sull’assemblaggio allo stesso tempo di elementi semplici e innovativi e su un sistema intelaiato leggero che si pone come alternativa al sistema tradizionale “umido” latero-cementizio. Nella stratificazione, l’intera parete svolge l’insieme delle funzioni richieste mentre ciascun elemento svolge una funzione specifica in un sistema connotato dalla integrabilità prestazionale, sulla base di esigenze progettuali specifiche. Una risposta innovativa ai temi ed alle esigenze sopra descritte viene data dal sistema InWall. Innovation-Wall, In-the-Wall, Inside-the-Wall, la chiave interpretativa dell’acronimo è volutamente aperta ad una definizione ampia delle soluzioni tecniche operative che il sistema InWall racchiude nel processo di integrazione edificio e impianti.

### 1.9.1 Problematiche delle reti gas interne

La realizzazione di una rete gas all’interno del sistema InWall presenta delle problematiche connesse alle prescrizioni normative per quanto riguarda le soluzioni di installazione. Garantire la sicurezza alle persone nei luoghi di lavoro e negli ambienti di vita dai pericoli degli impianti è stato per anni l’obiettivo della Legge n.46/90 e del relativo DPR attuativo n.449/91. Il D.M. 22 gennaio 2008 n.37, pubblicato sulla G.U. n.61 del 12/03/2008, è entrato in vigore il 27 marzo 2008 ed ha sostituito la Legge n.46/90 ed il relativo regolamento di attuazione semplificando notevolmente le procedure e gli adempimenti. Il Decreto si applica agli impianti posti al servizio degli edifici, indipendentemente dalle destinazioni d’uso, collocate all’interno degli stessi o delle relative pertinenze. Se l’impianto è connesso a reti di distribuzione si applica a partire dal punto di consegna della fornitura. Il Decreto Legislativo n.81/08 rappresenta l’evoluzione del modo di fare sicurezza nel settore degli impianti civili, infatti nel corso degli ultimi sessanta anni si è passati dalla “Protezione Tecnica” di cui al DPR 547/55 all’“Approccio Organizzativo” introdotto dal D.Lgs.626/94 fino ad arrivare all’attuale “Approccio Sistemico” in cui sono considerati tutti i fattori della produzione interagenti tra loro, per una gestione per obiettivi. Gli impianti tecnologici assumono in questo contesto un aspetto non trascurabile in quanto occorre una costante azione di formazione degli operatori ed una corretta informazione dell’utenza sui rischi connessi all’uso improprio degli impianti, cosa del resto particolarmente cogente nei luoghi di lavoro.

Nel caso degli impianti a Gas si ritiene utile definire una terminologia quale riferimento all’interno del presente documento:

• **Condotte del gas:** o insieme di tubi, curve, raccordi ed accesso riuniti fra loro per la distribuzione del gas. Le condotte oggetto della presente regola tecnica sono comprese in una delle seguenti specie definite nel D.M. 24.11.1984:

- 6° specie: condotte per pressioni massime di esercizio maggiori di 0,04 fino a 0,5 bar
- 7° specie: condotte per pressioni massime di esercizio fino a 0,04 bar

• **Punto di consegna:** o punto di consegna del combustibile gassoso individuato in corrispondenza:

- del raccordo di uscita del gruppo di misurazione
- del raccordo di uscita della valvola di intercettazione, che delimita la porzione di impianto di proprietà dell’utente, nel caso di assenza del gruppo di misurazione;
- del raccordo di uscita del riduttore di pressione della fase gassosa nel caso di alimentazione da serbatoio

• **Impianto interno:** o complesso delle condotte compreso tra il punto di consegna del gas e gli apparecchi utilizzatori (questi esclusi)

### 1.9.2 Percorso delle tubazioni

I tubi di acciaio possono essere senza saldatura oppure con saldatura longitudinale e devono avere caratteristiche qualitative e dimensionali non inferiori a quelle indicate dalla norma UNI 8863.

I tubi in acciaio con saldatura longitudinale se interrati devono avere caratteristiche qualitative e dimensionali non inferiori a quelle indicate dalla norma UNI 8488.

I tubi in rame si possono utilizzare esclusivamente per le condotte del gas della VII specie (pressione di esercizio  $\leq 0,04$  bar) devono avere caratteristiche qualitative e dimensionali non minori di quelle indicate dalla norma UNI 6507, serie B. Nel caso di interramento lo spessore non può essere minore di 2 mm.

I tubi di polietilene, ammessi unicamente per l'interramento all'esterno di edifici, devono avere caratteristiche qualitative e dimensionali non inferiori a quelle indicate dalla norma UNI ISO 4437 serie S8, con spessore minimo di 3 mm.

Il percorso tra punto di consegna ed apparecchi utilizzatori deve essere il più breve possibile ed è ammesso:

All'esterno dei fabbricati:

- a) interrato;
- b) a vista;
- c) in canaletta.

All'interno dei fabbricati

- in appositi alloggiamenti, in caso di edificio locali destinati ad uso civile o ad attività soggette ai controlli dei Vigili del Fuoco;
- in guaina di acciaio in caso di attraversamento di locali non compresi nei punti precedenti, di androni permanentemente aerati, di intercapedini, a condizione che il percorso sia ispezionabile.

### 1.9.3 Caratteristiche e tecnologia del sistema InWall

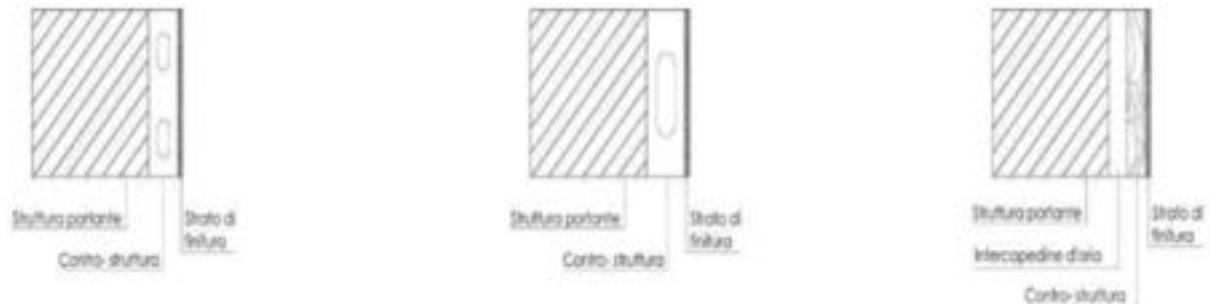
Il progetto intende sperimentare all'interno del processo edilizio e nello specifico della tecnologia delle partizioni interne, soluzioni sistemiche che integrino le seguenti componenti tecnologiche:

- Rete elettrica: bassa e media tensione (12-24-220V);
- Infrastruttura dati: domotica con trasmissione a tecnologia BUS dati;
- Rete per il gas (GPL o Metano);
- Un sistema di connessione domestico P'nP;
- Ventilazione interna (Ventilazione Meccanica Controllata VMC);
- Domotica nel suo complesso;
- Sistemi d'integrazione delle componenti d'arredo-

Sulla base delle prestazioni offerte dai parametri presenti, l'idea proposta è la realizzazione di una parete tecnologica interna multistrato a secco mediante la posa in opera di:

- Reti tecnologiche posizionate sulle pareti esistenti;
- Eventuale intercapedine di aria nel caso di spazi tecnici più ampi;
- Superfici di finitura.

In base alle esigenze impiantistiche del caso sono state vagliate tre differenti sezioni verticali definite in un abaco di soluzioni tecniche come riportato di seguito:



**Figura 8 Sezioni verticali: InWall tipo "Basic", tipo "Flat" e tipo "Inter"**

Le soluzioni "Basic" e "Flat" presentano la stessa struttura costituita da montanti in acciaio riciclato e differiscono solo per lo spessore in base alla tipologia di impianti da ospitare. La prima soluzione prevede infatti montanti di spessore pari a 8 cm con asolature pari a 3x7 cm adatte ad ospitare gli impianti elettrici. La seconda soluzione, con uno spessore dei montanti più ampio, pari a 10 cm ed asolature di 5 cm x 15 cm permette il passaggio di tubazioni di VMC a sezione piatta e tubazioni per il passaggio di gas. La soluzione "Inter" invece è composta da una struttura di montanti in legno con spessore pari a 5 cm e un'intercapedine di 9 cm in grado di contenere tubazioni di VMC più spessi per ambienti particolari o affollati come nel caso di sale conferenze. Tutte e tre le soluzioni sono a basso impatto ambientale in quanto fanno uso di materiali quali l'acciaio riciclato o il legno. In quest'ultimo caso è previsto l'utilizzo di legname certificato e prodotto entro i 500 km di distanza dalla sua applicazione.

- Tipo "Basic": lo spessore è contenuto al massimo grazie all'asolatura dei montanti e dei traversi che lasciano passare i corrugati di circonferenza esigua, sia in orizzontale che in verticale. L'impianto di ventilazione è situato nella fascia superiore tramite un cavedio apposito. Il tutto è pensato per ridurre al minimo la diminuzione di superficie calpestabile all'interno di ambienti stretti.
- Tipo "Flat": lo spessore è maggiore ma tale da contenere al suo interno l'impianto di ventilazione meccanica controllata nel caso in cui sia necessario ventilare un ambiente piccolo e poco affollato.
- Tipo "Inter": la struttura non è in aderenza alla parete portante. Indicata nei casi in cui le tubazioni degli impianti previsti siano troppo ingombranti o numerosi e quindi, risulterebbe poco pratico l'inserimento nelle asole.

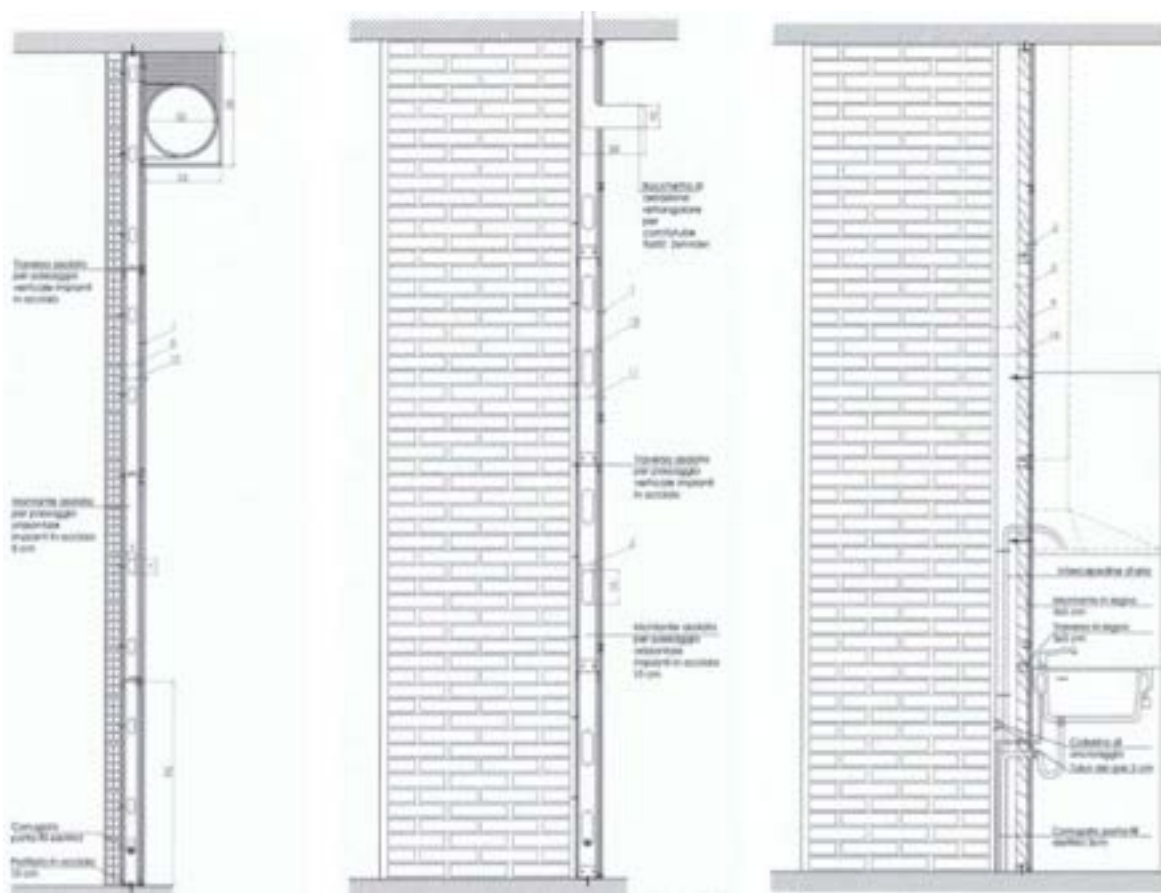


Figura 9 Tipologie InWall

Il sistema è provvisto di un sistema di aggancio universale che permette come superfici di finitura, l'applicazione di diversi pannelli scelti in base alle esigenze funzionali ed estetiche. Tra la grande varietà di possibili soluzioni citiamo le superfici in legno, piastrelle in vetro riciclato, pannelli in polietilene o plastica riciclati, pannelli in stoffa, pannelli fonoassorbenti, etc. E' inoltre possibile inserire pannelli attrezzabili in grado di sostenere carichi leggeri. I carichi più pesanti invece, come mensole, mobili, etc. possono essere sostenuti direttamente dai montanti dotati di piccoli fori anche sul fronte anteriore. Il costo complessivo della parete posata in opera è di circa 40€/mq.

InWall è dotata delle seguenti caratteristiche:

- è rapida: riduce i tempi di esecuzione degli interventi confrontati con quelli tradizionali (demolizioni varie, ripristini, finiture etc.) grazie alla sua leggerezza e trasportabilità.
- è attiva: fornisce allo stesso tempo energia (termica ed elettrica) e aria ventilata.
- non è invasiva: non comporta interventi distruttivi riducendo al minimo scassi e tracce sulle strutture portanti in muratura senza intaccarne le capacità strutturali. Permette di personalizzare e riconfigurare gli spazi interni.
- è economica: ha bassi costi di trasporto grazie alla leggerezza dei materiali; ha bassi costi di acquisto grazie alla reperibilità dei materiali utilizzati e alla varietà di soluzioni fornite con lo stesso sistema costruttivo; bassi costi energetici facendo uso di materiali naturali e rinnovabili e di materiali riciclati; ha un basso impatto ambientale grazie al montaggio a secco.
- è tecnologica: è dotata di strategie di controllo (sensori) sia per il rilevamento delle perdite di gas che per il controllo del microclima interno con l'obiettivo di tendere allo stato di comfort ambientale; è in grado di sostenere carichi leggeri e pesanti adattandosi alle diverse funzioni.
- è ecologica: non dispone di sorgenti di inquinamento indoor; nel campo del Life Cycle Thinking apporta un valore aggiunto in quanto l'intero sistema, dal concept alla posa in opera, è realizzato con materiali a basso impatto.

## 2 Descrizione delle attività svolte e risultati

### Introduzione alla parete ventilata

Nel caso di edifici di nuova costruzione o esistenti non soggetti a vincoli, ossia quando è possibile alterare la facciata esterna, si prevede installare le reti di distribuzione del gas all'interno delle tradizionali pareti ventilate.

Nei seguenti paragrafi si riporta una descrizione dettagliata del loro comportamento alle diverse condizioni, mentre si rimanda ai Capp. 3 e 4 per le principali caratteristiche costruttive e per il comportamento fluidodinamico delle stesse.

#### 2.1.1 Generalità sulle sue applicazioni

La facciata ventilata è un sistema di chiusura verticale, prevalentemente opaca, composta da diversi strati, in modo da realizzare un'intercapedine comunicante con l'ambiente esterno mediante aperture (superiori ed inferiori e/o tramite fughe aperte del paramento/rivestimento) opportunamente dimensionate, tali da permettere la circolazione dell'aria, con lo scopo di interrompere la continuità degli strati costituenti la parete esterna di un edificio [4].

La composizione del sistema "parete ventilata" è così semplificabile:

- rivestimento esterno
- sottostruttura
- intercapedine ventilata
- isolamento termico esterno continuo
- struttura portante
- paramento murario e finitura interna

Il rivestimento esterno costituisce una sorta di guscio protettivo per l'edificio ed è fissato alla struttura portante principale, qualunque sia la sua tipologia costruttiva, mediante una sottostruttura che, collegando il rivestimento alla muratura mediante un vincolo meccanico, ha anche il compito di assorbire le tolleranze di costruzione e facilitare la posa e la manutenzione, sostituzione e ispezione dell'isolante e del rivestimento esterno. Questa è solitamente costituita da profilati metallici (lega di alluminio o acciaio inox), secondo schemi variabili (soli montanti, soli traversi, montanti e traversi, ecc) e maglie modulari di dimensioni più o meno ridotte. Il sistema di ancoraggio alla struttura portante può essere costituito da sostegni puntuali, anche dotati di opportuna regolazione nelle 3 direzioni spaziali, per una maggiore libertà non solo architettonica ma anche manutentiva, in quanto si rende ogni elemento indipendente dagli altri e si ha inoltre un ingombro decisamente minore all'interno dello strato di ventilazione. L'intercapedine può avere spessori che generalmente vanno da 2 a 15 cm, determinati sulla base di analisi fisico-tecniche, tecnologiche, architettoniche o costruttive. La ventilazione può essere di tipo naturale o forzato, mediante l'installazione di piccoli elettroventilatori. Solitamente la lama d'aria è a diretto contatto con lo strato isolante, a sua volta direttamente applicato sulla parte esterna della parete perimetrale verticale. Lo spessore dell'isolante termico è determinato dalla trasmittanza termica, in base alle normative vigenti in materia. In Italia è mediamente di 5 cm. In questo sistema, lo strato isolante è quindi protetto dai danni che potrebbero essere provocati dall'entrata accidentale di acqua piovana nell'intercapedine. La stessa infatti non può ristagnare perché l'aria calda proveniente dall'apertura inferiore la fa evaporare, mantenendo asciutti i materiali presenti nell'intercapedine ed evitando di trasmettere tale umidità verso l'interno dell'edificio, attraverso il paramento murario. L'intercapedine è quindi una sottile cavità in cui è presente un flusso d'aria ascendente per effetto camino provocato da differenze di densità dovute a differenze di temperature, grazie alle aperture di presa e rilascio presenti alla base ed alla sommità della parete, in modo da garantire microventilazione, per mantenere l'isolante termico sempre asciutto, qualsiasi siano le condizioni esterne ed interne e in ogni stagione meteorologica, oppure efficiente ventilazione, per la

riduzione del carico termico estivo, facilita inoltre l'evacuazione del vapore acqueo proveniente dall'interno, favorendo lo smaltimento di eventuale umidità. Per quanto riguarda i costi di realizzazione, sono più elevati rispetto a quelli di un sistema tradizionale, ma l'investimento è compensato dal pregio architettonico e funzionale che assume l'edificio e soprattutto dall'assenza di necessità manutentiva nel tempo. In sintesi, le pareti ventilate offrono la possibilità di avere una serie di vantaggi:

- controllo igrometrico, eliminazione della condensa superficiale,
- benefici termici,
- risparmio energetico,
- elevata traspirabilità,
- eliminazione dei ponti termici,
- facilità di posa in opera,
- schermatura acustica,
- creazione di un vano tecnico per l'alloggiamento di impianti e canalizzazioni,
- minore manutenzione:
  - protezione della struttura muraria dall'azione diretta degli agenti atmosferici,
  - aumento della durabilità e dell'efficienza nel tempo dell'involucro e dell'isolante,
  - eliminazione dei rischi di fessurazione nel rivestimento,
  - possibilità di effettuare interventi di manutenzione anche su ogni singolo elemento,
  - maggiore resistenza all'urto.

### 2.1.2 Influenza dei parametri costruttivi sulla velocità dell'aria nell'intercapedine

Come sopra detto, il rivestimento esterno viene generalmente fissato alla struttura muraria, tramite un sistema di fissaggio con orditura continua (solo montanti o montanti e traversi), oppure puntuale. Mentre nel primo caso si ha prevalentemente corrente d'aria ascensionale, nel secondo l'aria può muoversi anche orizzontalmente. Inoltre nel primo caso si configurano una sorta di canali ed in presenza di elementi orizzontali si ostacola il moto dell'aria.

Grazie alla simulazione fluidodinamica numerica, questo lavoro ha lo scopo di analizzare il comportamento delle pareti ventilate ed in particolare il moto e la velocità dell'aria nell'intercapedine, al variare dei parametri costruttivi, del sistema utilizzato, dei materiali, della geometria, delle condizioni meteorologiche e delle ostruzioni, individuando il campo termo-fluidodinamico interno alla parete, i flussi di calore, le linee di corrente e le eventuali zone di ristagno.

Nel caso di pareti a ventilazione naturale, le velocità sono comprese fra 0.4 m/s e 1.2 m/s. Velocità e portata d'aria dipendono fortemente dalla geometria dell'intercapedine e soprattutto dallo spessore e dallo sviluppo in altezza che determina l'effetto camino. Ad influenzarle sono inoltre le perdite di carico dovute alla presenza di ostacoli all'interno dell'intercapedine, quali il sistema di ancoraggio o le finestre, e la velocità del vento in prossimità delle bocchette d'ingresso ed uscita dell'aria.

### 2.1.3 Comportamento della parete ventilata in condizioni estive e invernali

L'utilizzo sempre più diffuso nella stagione calda degli impianti di condizionamento e sistemi split sta portando rapidamente al superamento della richiesta di energia elettrica in estate rispetto all'inverno. Pertanto un'adeguata progettazione dell'involucro edilizio può essere utile alla riduzione dei carichi termici estivi e la parete ventilata è una delle possibili soluzioni al problema[5].

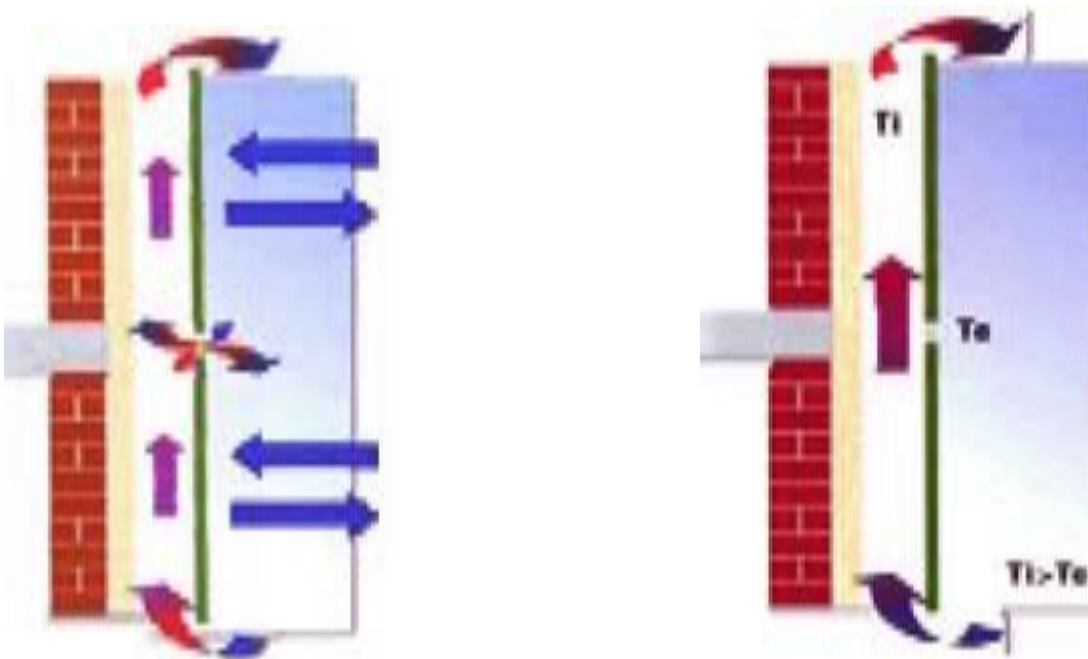
La facciata ventilata è un sistema costruttivo che trova le sue radici nelle tecniche edilizie del passato e che oggi è utilizzato ai fini di ottenere risparmio energetico e comfort abitativo, sia per edifici di nuova costruzione che per interventi su edifici esistenti.

Il suo funzionamento si basa sul principio fisico della ventilazione che nella stagione estiva porta alla riduzione del carico termico dovuto all'insolazione, mentre nella stagione invernale, il flusso d'aria all'interno dell'intercapedine porta al miglioramento delle prestazioni igrometriche della struttura, eliminando l'eventuale umidità di condensa interstiziale. Nella stagione calda, la riflessione termica del rivestimento, la lama d'aria in movimento all'interno dell'intercapedine e l'isolante termico, minimizzano la

trasmissione del carico termico solare incidente sulla parete; nella stagione fredda l'isolamento esterno (di buono spessore, omogeneo e continuo), minimizza le dispersioni di calore. Nella stagione invernale, le basse temperature esterne ed il ridotto irraggiamento solare portano alla riduzione del flusso d'aria interno all'intercapedine per effetto camino e non è quindi necessario chiudere le serrande delle aperture di ingresso ed uscita dell'aria. In questa stagione la velocità dell'aria presente nell'intercapedine diminuisce ma non abbastanza da poter essere considerata statica e quindi con potere isolante. I fattori che determinano il risparmio energetico conseguibile sono, oltre ai fattori ambientali (sito e condizioni climatiche), anche quelli geometrici e le caratteristiche costruttive della parete.

•ESTATE: "effetto camino"

•INVERNO: schermo protettivo



**Figura 10 Comportamento estivo ed invernale della parete ventilata**

#### 2.1.4 Pareti debolmente e fortemente ventilate

Va precisato che, nelle fasce continentale e temperata, il sistema fin qui descritto ed analizzato è caratterizzato da una ventilazione molto debole e quindi la lama d'aria presente al suo interno non può acquisire valenza come isolamento termico di tipo dinamico, neanche nelle ore e nelle stagioni più calde. Il movimento dell'aria ha un altro scopo, quello di garantire agli strati di parete verso gli ambienti interni, l'adeguata protezione dalle piogge e dalla condensazione nell'intercapedine, riducendo la sensibilità all'azione combinata di vento e pioggia.

Il sistema parete ventilata permette di eliminare gli aspetti negativi derivanti dal posizionamento dell'isolante sulla superficie esterna dell'edificio (isolamento "a cappotto"), pur conservandone gli aspetti benefici. Viene infatti eliminato il problema della durabilità dello stesso, in quanto protetto dal rivestimento, e della condensazione interstiziale dovuta alla sua resistenza al trasporto di vapore, grazie alla lama di aria in movimento.

Nella stagione estiva, in termini termo-energetici, non è quindi sufficiente il potere isolante della lama d'aria ventilata. A questo si rimedia con l'adeguato dimensionamento dello strato termo isolante e con la massa del paramento murario. Ciò non significa che questo sistema non funzioni bene ma semplicemente che, nel complesso (stagione calda o fredda che sia), conviene utilizzare uno strato isolante massicciamente isolato e debolmente ventilato. Sono effettivamente utilizzati prevalentemente sistemi di tipo debolmente o molto debolmente ventilato, detti "microventilati".

Lo spessore minimo dell'intercapedine è di 2 cm (non necessariamente costante ma è il minimo spazio libero che la lama d'aria deve avere in tutta la sua altezza), ma deve essere dimensionato a seconda del flusso di aria che si desidera avere. Se si vuole garantire un certo flusso in estate, per isolare

dinamicamente la parete dall'azione della radiazione solare, l'intercapedine dovrà avere uno spessore maggiore, anche in funzione dell'altezza, per generare un adeguato "effetto camino".

Per quanto riguarda la resistenza termica di pareti e coperture ventilate, la UNI EN ISO 6946, 1999 fornisce indicazioni di carattere progettuale per le diverse tipologie di intercapedine.

L'intercapedine si considera non ventilata, ossia chiusa, quando le aperture verso l'ambiente esterno non sono disposte in modo tale da permettere l'instaurarsi di un flusso d'aria attraverso l'intercapedine stessa e la loro superficie non sia superiore a  $500 \text{ mm}^2$  per metro di lunghezza (intercapedine verticale) o  $500 \text{ mm}^2$  per metro quadrato di superficie (intercapedine orizzontale).

Per debolmente ventilata si intende una intercapedine con aperture comprese tra  $500 \text{ mm}^2$  e  $1500 \text{ mm}^2$  per metro di lunghezza (intercapedine verticale) o per metro quadrato di superficie (intercapedine orizzontale).

Infine sono fortemente ventilate quelle intercapedini che presentano aperture con superfici superiori a  $1500 \text{ mm}^2$ .

## 2.2 Tipologie costruttive

### 2.2.1 Generalità

La parete ventilata è presente nella normativa tecnica nazionale come soluzione costruttiva conforme per la realizzazione delle pareti perimetrali verticali degli edifici caratterizzate dalla presenza di uno strato di ventilazione. Le norme di riferimento sono le seguenti: UNI 7959, 1988; UNI 8979, 1987.

Questo sistema costruttivo non è trattato all'interno della normativa nazionale in modo organico e dettagliato. La normativa nazionale fa però riferimento alle norme tecniche sulla classificazione e le caratteristiche dei materiali utilizzati per realizzare lo strato di rivestimento esterno e sui sistemi di fissaggio meccanico utilizzati per ancorare lo strato esterno alla struttura portante ed alle norme "complementari" in tema di progettazione, sicurezza delle costruzioni (progettazione strutturale e antisismica), risparmio energetico, requisiti fisico-tecnici ambientali (acustici ed illuminotecnici) e qualità del processo edilizio.

Questo tipo di soluzione è complesso e può essere classificato secondo vari criteri, in base alle sue caratteristiche. Di seguito vedremo alcune applicazioni.

#### Classificazione delle pareti ventilate:

- tecnica di montaggio:
  - sistema puntuale (sistema isostatico)
  - sistema strutturale (sistema iperstatico)
    - a soli montanti
    - a soli traversi
    - a montanti e traversi
- tipo di ventilazione:
  - fughe aperte (flusso di aria tra le aperture)
  - fughe chiuse (no flusso di aria)
- peso:
  - pesante:  $> 70 \text{ kg/m}^2$  spessori di 4 – 10 cm (pietra naturale, prefabbricati in cls, ...)
  - semipesante:  $30 - 70 \text{ kg/m}^2$  spessori di 3 – 4 cm, fino a  $1,5 \text{ m}^2$  (pietra naturale, clinker, pannelli prefabbricati in cls)
  - leggera:  $< 30 \text{ kg/m}^2$  (piastrelle in ceramica, pannelli in fibra di cemento, pannelli metallici, laminati, lastre di vetro)

I sistemi di ancoraggio del rivestimento esterno della parete ventilata, si distinguono tra quelli di tipo puntuale (o local fixing) e quelli di tipo diffuso (o spread fixing); in entrambi i casi i sistemi possono essere a vista o a scomparsa.

Nel caso puntuale il rivestimento viene vincolato direttamente alle strutture perimetrali ed alle pareti di tamponamento con un numero minimo di idonei tasselli sufficiente a garantire la loro stabilità statica. Generalmente si dispongono quattro perni metallici ai vertici delle lastre. Questo sistema è molto diffuso in quanto economicamente vantaggioso, in particolare per lastre di rivestimento di medio e grande formato e per spessori dell'intercapedine d'aria non superiori a 10 cm, sebbene i tasselli di fissaggio possano costituire eventuali ponti termici dell'involucro edilizio. Va comunque tenuto in considerazione che questo tipo di fissaggio richiede grande accuratezza e precisione in tutte le fasi di lavoro in quanto ogni vincolo va applicato in un punto obbligato. Inoltre è fondamentale che il supporto murario venga adeguatamente regolarizzato e predisposto alla posa di questi apparecchi con una tolleranza minima.

Alcuni svantaggi derivanti da questo sistema di posa sono:

- montaggio degli elementi di rivestimento in sequenza obbligata

- conseguente difficoltà di procedere al successivo montaggio/smontaggio/manutenzione/sostituzione degli elementi del rivestimento in sequenza libera
- impossibilità di assecondare eventuali movimenti differenziali dell'edificio senza trasferire tensioni significative al rivestimento
- non semplice realizzazione di uno strato isolante continuo e di elevato spessore
- complessità e limitata velocità della posa e del completamento del pacchetto di rivestimento
- facilità di innesco di concentrazioni e coazioni meccaniche nel piano di rivestimento con conseguente incremento delle tensioni nei punti di contatto tra rivestimento e fissaggio e nelle reazioni vincolari tra ancoraggi e supporto murario

Nel caso diffuso, gli apparecchi di sostegno e fissaggio degli elementi del rivestimento vengono vincolati ad elementi astiformi distanziati dal piano al rustico della facciata, ancorati a loro volta a questo mediante staffaggi di lunghezza tale da assorbirne opportunamente le tolleranze di planarità e verticalità ed a contenere lo spessore dell'isolante termico e quello dell'intercapedine d'aria. Il sistema di fissaggio continuo, è quindi costituito da profilati che realizzano una vera e propria orditura metallica retrostante lo strato di rivestimento. In questo caso ad una orditura primaria verticale, fissata alla struttura muraria, si collega una orditura secondaria orizzontale alla quale sono ancorate le lastre di rivestimento con opportune staffe (elementi puntuali) o profili (elementi continui) ancorati al lato interno delle lastre con vari sistemi. In generale il materiale preferito per realizzare le orditure metalliche che compongono la sottostruttura di ancoraggio del rivestimento alla struttura portante, soprattutto grazie alla sua elevata resistenza alla corrosione che garantisce maggiore durabilità, è l'acciaio zincato a caldo o inossidabile, nella designazione AISI 316L, materiale suggerito anche dai codici di pratica.

Questo tipo di fissaggio ha maggiori costi di approvvigionamento dei componenti ma anche oggettivi vantaggi:

- facile e rapida individuazione del piano di posa ideale
- facile rapida e precisa installazione e regolazione del rivestimento
- facile realizzazione di uno strato isolante continuo e di spessore elevato
- possibilità di montaggio/smontaggio/manutenzione/sostituzione degli elementi del rivestimento in sequenza libera
- possibilità di assecondare gli eventuali movimenti differenziali dell'edificio senza trasferire tensioni significative e non prevedibili al rivestimento
- facilità e velocità della posa e completamento del pacchetto di rivestimento, anche da parte di più squadre contemporaneamente
- buona propensione all'integrazione di reti e componenti impiantistici, compresi quelli per lo sfruttamento di fonti energetiche rinnovabili

Il sistema di fissaggio può essere scelto in base ad aspetti economico-progettuali connessi con la manutenibilità dell'edificio (es. sostituzione delle lastre) o ad aspetti tecnico-costruttivi (es. caratteristiche dei materiali di rivestimento, entità dei carichi applicati). Il sistema di fissaggio può influenzare in maniera non trascurabile, ma di difficile e incerta valutazione, le perdite di carico per attrito fluidodinamico nell'intercapedine. Questo sistema di facciata presenta dei giunti continui di dilatazione, funzionalmente necessari per permettere alle lastre di rivestimento la dilatazione libera, causata da escursioni termiche o eventuali assestamenti strutturali. Questi possono essere di tipo chiuso (2-3 mm) o aperto (6÷7 mm, fino a 1,5 cm). L'adozione di giunti aperti è utilizzata soprattutto nelle facciate di notevole estensione o con l'utilizzo di lastre di grandi dimensioni, in quanto non richiede una particolare precisione nella posa in opera del sistema.

## MATERIALI DI RIVESTIMENTO:

### Materiali “tradizionali”

- legno
- pietra
- cotto

### Materiali “tradizionali” ma messi in opera in modo innovativo

- ceramica
- laterizio

### Materiali “innovativi”

- leghe metalliche (alluminio, acciaio inossidabile, rame, titanio)
- materie plastiche (laminati ad alta pressione, resine sintetiche termoindurenti)
- calcestruzzi (Portland additivato con tensostabilizzanti, impastati con fibre di vetro, fibrocementi)
- materiali compositi e di sintesi
- laminati e resine di sintesi
- pietre naturali
- polimerici

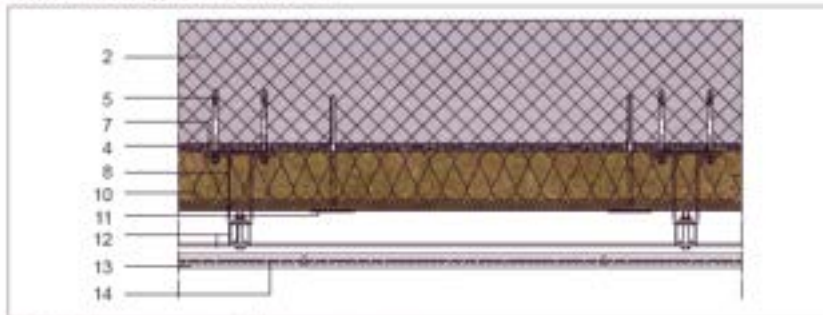
## FORME:

- lastra
- tavella
- dogia
- listello
- cassetta
- pannello
- elementi speciali d’angolo

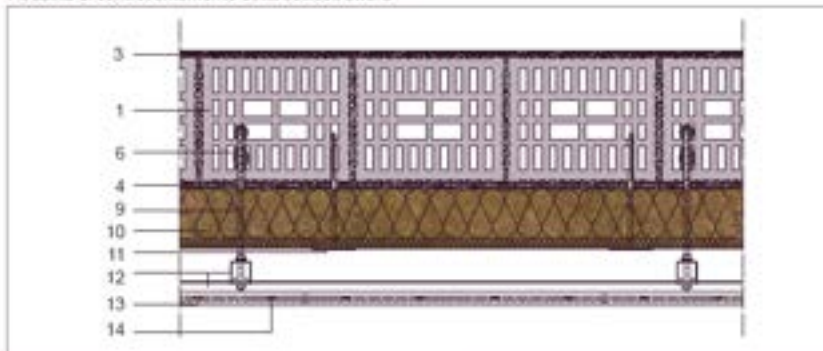
Le dimensioni possono spaziare ampiamente a seconda delle esigenze ma soprattutto dei materiali scelti e vanno da piccoli grandi formati: lastre, dai 30x30 cm sp. 6 mm delle più piccole ed economiche piastrelle in grès porcellanato o ceramica smaltata, fino ai massimi con un limite della dimensione del lato lungo di 3 mt (h interpiano), di prodotti speciali in pannelli compositi in lana di roccia ad altissima densità o ceramica o vetro stratificato o laminati di sintesi. I materiali possono essere classificati in base alle specifiche prestazioni e caratteristiche come la massa areica, quindi la pesantezza del prodotto. Di seguito si riportano alcuni esempi di tipologie di facciata presenti sul mercato[6].

2.2.2 Edificio di nuova costruzione di tipo convenzionale: rivestimento in lastre lapidee[6]

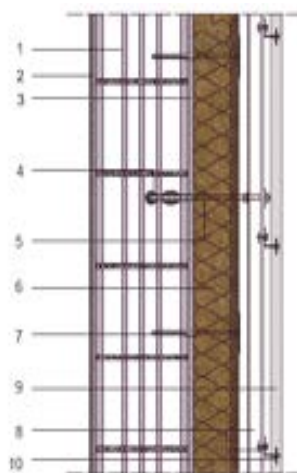
Modalità di ancoraggio della sottostruttura



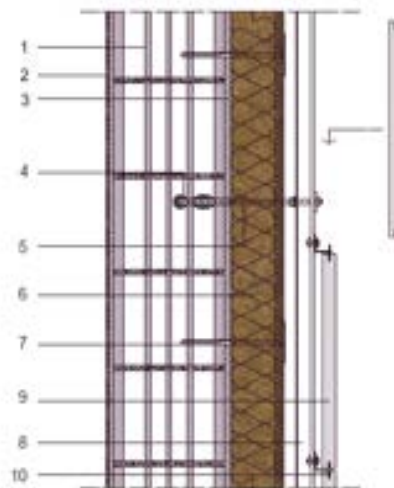
Modalità di controventamento della sottostruttura



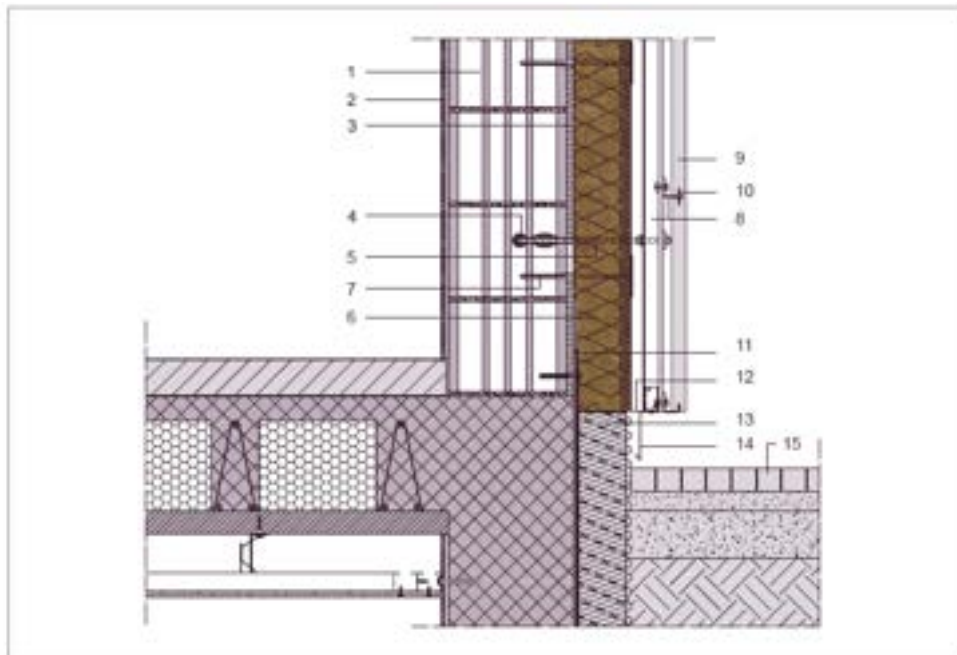
- |  |  |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Muratura di tamponamento in blocchi alveolari sp. 25 cm.</li> <li>2. Trave di bordo in c.a.componente la struttura portante a telaio dell'edificio</li> <li>3. Intonaco di base e di finitura sp. 1,5 cm</li> <li>4. Intonaco di regolarizzazione in sabbia e cemento sp. 1,5 cm</li> <li>5. Ancoraggio di tipo meccanico per elementi in c.a</li> <li>6. Ancoraggio di tipo chimico per murature in blocchi alveolari</li> <li>7. Elemento di separazione staffa - muratura in neoprene sp. 0,5 cm</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>8. Staffe ad D in acciaio inox per ancoraggio della sottostruttura</li> <li>9. Barra filettata M10 in acciaio inox di controvento della sottostruttura</li> <li>10. Isolante in pannelli di lana di roccia Ventirock Duo sp. 12 cm</li> <li>11. Chiodi con rondella per fissaggio isolante</li> <li>12. Sottostruttura reggilastra a montanti a C e traversi a L in acciaio inox</li> <li>13. Lastre di rivestimento in materiale lapideo, sp. 3 cm</li> <li>14. Spinette di fissaggio in acciaio inox sp. 2 mm alloggiate in fresature kerf</li> </ol> |
|--|--|



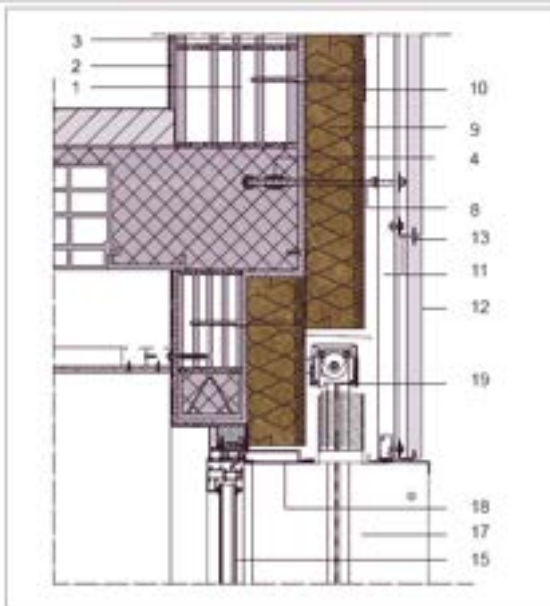
1. Muratura di tamponamento in blocchi alveolari sp. 25 cm
2. Intonaco di base e di finitura sp. 1,5 cm
3. Intonaco di regolarizzazione in sabbia e cemento sp. 1,5 cm
4. Ancoraggio di tipo chimico per murature in blocchi alveolari
5. Barra filettata M10 in acciaio inox di controvento della sottostruttura



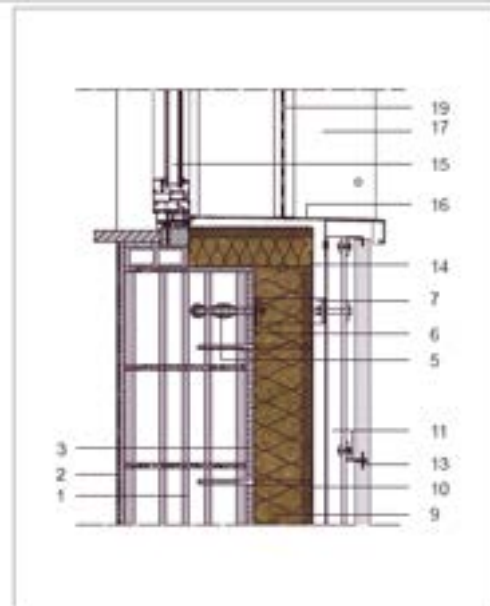
5. Isolante in pannelli di lana di roccia Ventirock Duo sp. 12 cm
7. Chiodi con rondella per fissaggio isolante
8. Sottostruttura reggilastra a montanti a C e traversi a L in acciaio inox
9. Lastre di rivestimento in materiale lapideo, sp. 3 cm
10. Spinette di fissaggio in acciaio inox sp. 2 mm alloggiate in fresature kerf



- |  |  |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Muratura di tamponamento in blocchi alveolari sp. 25 cm</li> <li>2. Intonaco di base e di finitura sp. 1,5 cm</li> <li>3. Intonaco di regolarizzazione in sabbia e cemento sp. 1,5 cm</li> <li>4. Ancoraggio di tipo chimico per murature in blocchi alveolari</li> <li>5. Barra filettata M10 in acciaio inox di controvento della sottostruttura</li> <li>6. Isolante in pannelli di lana di roccia Ventirock Duo sp. 12 cm</li> <li>7. Chiodi con rondella per fissaggio isolante</li> <li>8. Sottostruttura reggistrata a montanti a C e traversi a L in acciaio inox</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>9. Lastre di rivestimento in materiale lapideo, sp. 3 cm</li> <li>10. Spinette di fissaggio in acciaio inox sp. 2 mm alloggiate in fresature kerf</li> <li>11. Sistema di impermeabilizzazione della parte interrata dell'edificio</li> <li>12. Griglia di chiusura inferiore anti-insetti</li> <li>13. Isolamento termico e strato di protezione delle parti interrate dell'edificio</li> <li>14. Scossaline di finitura</li> <li>15. Pavimentazione esterna in autobloccanti</li> </ol> |
|--|--|



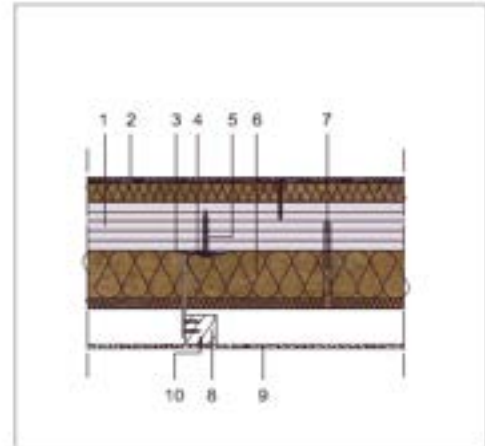
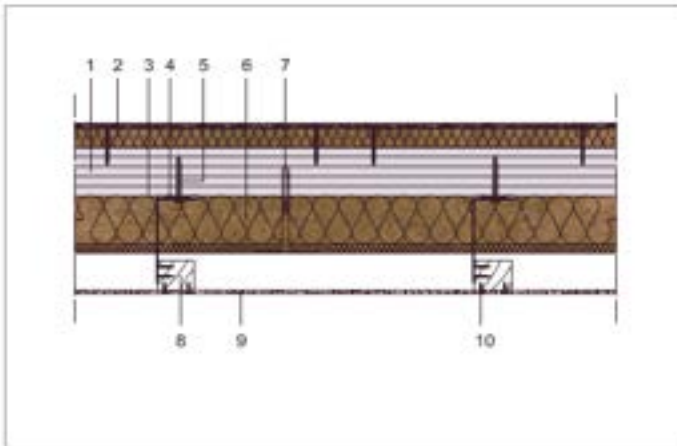
1. Muratura di tamponamento in blocchi alveolari sp. 25 cm
2. Intonaco di base e di finitura sp. 1,5 cm
3. Intonaco di regolarizzazione in sabbia e cemento sp. 1,5 cm
4. Ancoraggio di tipo meccanico per elementi in c.a.
5. Ancoraggio di tipo chimico per murature in blocchi alveolari
6. Elemento di separazione staffe - muratura in neoprene sp. 0,5 cm
7. Staffa ad U in acciaio inox per ancoraggio della sottostruttura
8. Barra filettata M10 in acciaio inox di controvento della sottostruttura
9. Isolante in pannelli di lana di roccia Ventirock Duo sp. 12 cm
10. Chiodi con rondella per fissaggio isolante



11. Sottostruttura reggistrata a montanti a C e traversi a L in acciaio inox
12. Lastre di rivestimento in materiale lapideo, sp. 3 cm
13. Spinette di fissaggio in acciaio inox sp. 2 mm alloggiate in fresature kerf
14. Telo microporoso trasparente - protezione isolamento davanzale finestra
15. Sembrante in alluminio e taglio termico con vetrocamera posato su filo-telaio in acciaio
16. Davanzale esterno in lega di alluminio
17. Spallette imbotite in lega di alluminio con innesto a baionetta e fissaggio meccanico
18. Cielino imbotite in lega di alluminio con innesto a baionetta e fissaggio meccanico
19. Sistema di oscuramento a lamelle orientabili dotato di guide di scorrimento laterali

2.2.3 Edificio di nuova costruzione in legno: rivestimento in lastre composite sottili in lana di roccia[6]

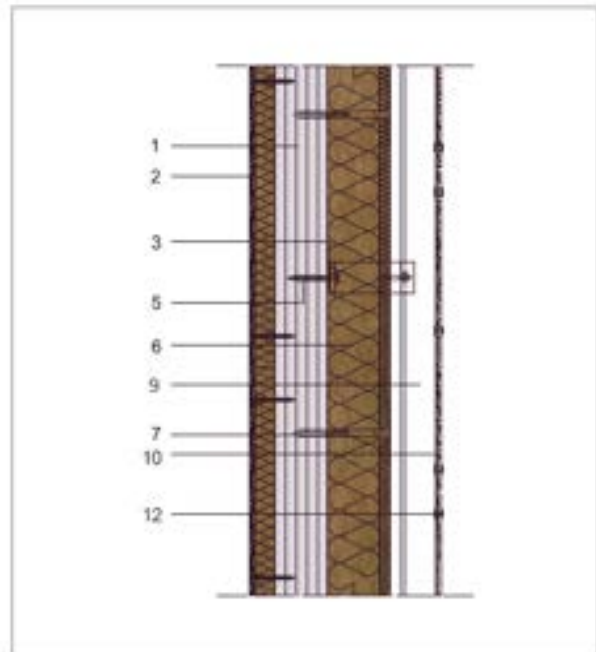
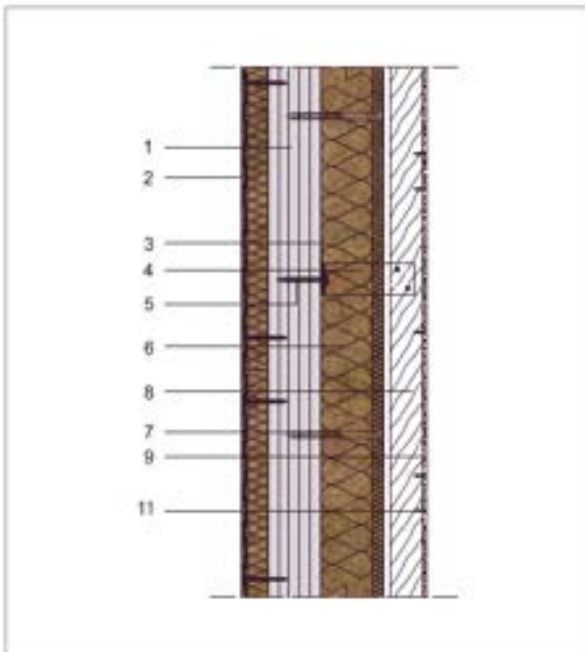
Particolare sottostruttura per fissaggio intermedio lastre L >> 60 cm



1. Struttura in pannelli di legno tipo x-lam
2. Pannello in lana di roccia Labelrock, elemento isolante e di finitura, sp. 5 cm applicato con fissaggio meccanico
3. Elemento di separazione staffa - struttura in x-lam in neoprene sp. 0,5 cm
4. Staffa in acciaio per controvento sottostruttura sp. 3 mm
5. Ancoraggio meccanico staffa con vite da legno

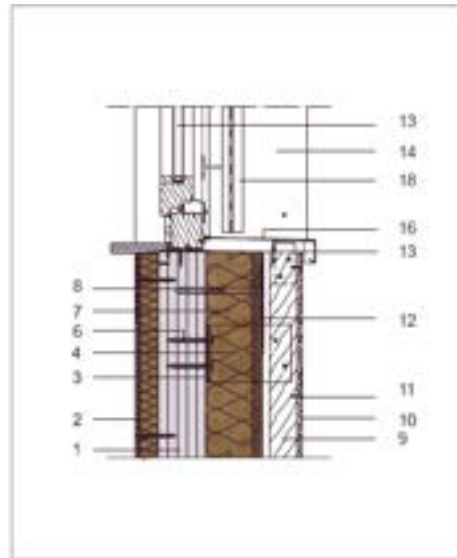
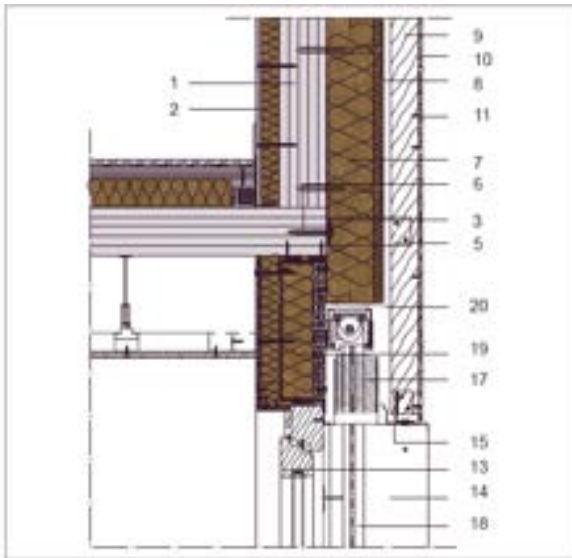
6. Isolante in pannelli di lana di roccia Vestirock Duo sp. 12 cm
7. Chiodi con rondella per fissaggio isolante
8. Sottostruttura reggilastri a montanti in legno trattato per esterno sp. 6 cm
9. Lastra composita sottile in lana di roccia ad alta densità sp. 0,8 cm
10. Vite di fissaggio in foro calibrato

In alternativa: sottostruttura a montanti in lega di alluminio, staffe in lega di alluminio pressofusa, fissaggio lastre a vista con rivetti in fori calibrati



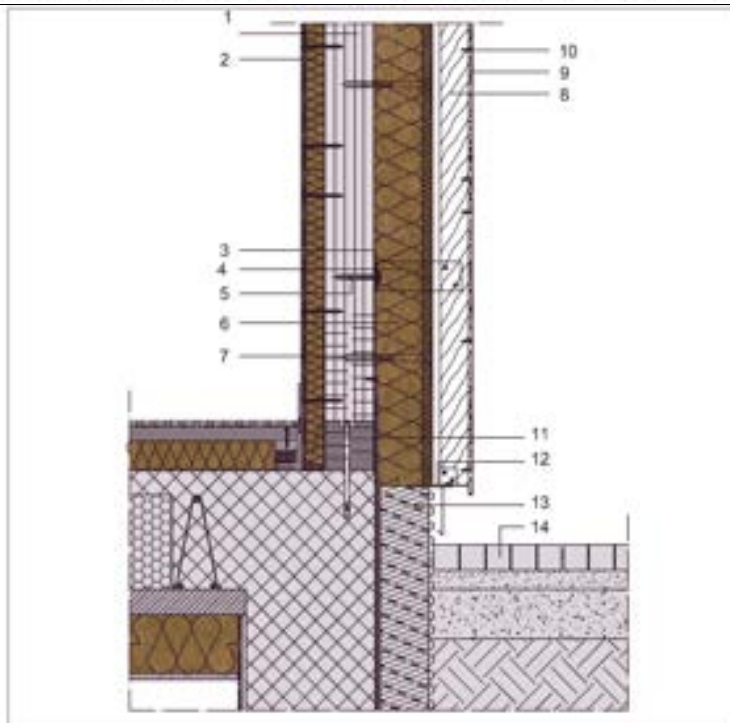
1. Struttura in pannelli di legno tipo x-lam
2. Pannello in lana di roccia Labelrock, elemento isolante e di finitura, sp. 5 cm applicato con fissaggio meccanico
3. Elemento di separazione staffa - struttura in x-lam in neoprene sp. 0,5 cm
4. Staffa in acciaio per controvento sottostruttura sp. 3 mm
5. Ancoraggio meccanico staffa con vite da legno
6. Isolante in pannelli di lana di roccia Vestirock Duo sp. 12 cm

7. Chiodi con rondella per fissaggio isolante
8. Sottostruttura reggilastri a montanti in legno trattato per esterno sp. 6 cm
9. Sottostruttura reggilastri a montanti in lega di alluminio estrusa "Sistema Sirio" ribassato
10. Lastra composita sottile in lana di roccia ad alta densità sp. 0,8 cm
11. Vite di fissaggio in foro calibrato
12. Rivetto di fissaggio in acciaio o alluminio in foro calibrato



1. Struttura in pannelli di legno tipo x-lam
2. Pannello in lana di roccia Labelrock, elemento isolante e di finitura, sp. 5 cm applicato con fissaggio meccanico
3. Elemento di separazione staffa - struttura in x-lam in neoprene sp. 0,5 cm
4. Staffa in acciaio per ancoraggio sottostruttura sp. 3 mm
5. Staffa in acciaio per controvento sottostruttura sp. 3 mm
6. Ancoraggio meccanico staffa con vite da legno
7. Isolante in pannelli di lana di roccia Ventrock Duo sp. 12 cm
8. Chiodi con rondella per fissaggio isolante
9. Sottostruttura reggilustra a montanti in legno trattato per esterno sp. 4 cm
10. Lastra composita sottile in lana di roccia ad alta densità sp. 0,8 cm

11. Vite di fissaggio in ferro calibrato
12. Telo microporoso traspirante - protezione isolamento spalletta finestra
13. Serramento in legno a giunto aperto con vetrificatore posato su falso telaio in acciaio
14. Spalletta imbottita in lega di alluminio con innesto a baionetta e fissaggio meccanico
15. Cielino in lega di alluminio
16. Davanzale esterno in lega di alluminio
17. Sistema di oscuramento e regolazione illuminazione a lamelle orizzontali in lega di alluminio
18. Profili guida in lega di alluminio del sistema di oscuramento e regolazione illuminazione naturale
19. Volete di tamponamento in pannello sandwich con integrazione di lastre in fibrocemento
20. Scossalina di protezione sistema di oscuramento e regolazione illuminazione naturale



1. Struttura in pannelli di legno tipo x-lam
2. Pannello in lana di roccia Labelrock, elemento isolante e di finitura, sp. 5 cm applicato con fissaggio meccanico
3. Elemento di separazione staffa - struttura in x-lam in neoprene sp. 0,5 cm
4. Staffa in acciaio per controvento sottostruttura sp. 3 mm
5. Ancoraggio meccanico staffa con vite da legno
6. Isolante in pannelli di lana di roccia Ventrock Duo sp. 12 cm
7. Chiodi con rondella per fissaggio isolante

8. Sottostruttura reggilustra a montanti in legno trattato per esterno sp. 4 cm
9. Lastra composita sottile in lana di roccia ad alta densità sp. 0,8 cm
10. Vite di fissaggio in ferro calibrato
11. Sistema di impermeabilizzazione della parte interrata dell'edificio
12. Griglia di chiusura inferiore anti-insetti con scossalina di finitura
13. Isolamento termico e strato di protezione delle parti interrate dell'edificio
14. Pavimentazione esterna in autobloccanti

## 2.3 Comportamento termo fluido dinamico della parete ventilata e ipotesi progettuali

### 2.3.1 Generalità

Nel presente paragrafo viene analizzato il comportamento delle pareti ventilate ai fini di una possibile integrazione con la rete impiantistica. In particolare, coerentemente con quanto anticipato nel capitolo 0, si è deciso di studiare il comportamento della parete ventilata nel caso in cui all'interno dell'intercapedine venga installata una rete di distribuzione del gas. In questa ottica si è prima analizzato il comportamento termo-fluidodinamico della parete mediante un'analisi parametrica, basata sui principali modelli teorici presenti in letteratura tecnico-scientifica. Allo scopo di avere un quadro di dettaglio sull'andamento delle velocità e dello scambio termico al variare della configurazione della parete ventilata, sono state condotte successivamente simulazioni termo-fluidodinamiche (CFD) utilizzando il software Ansys Fluent 6.3. In fine allo scopo di analizzare il fenomeno di dispersione di eventuali fughe di gas all'interno dell'intercapedine, sono state condotte ulteriori simulazioni CFD in cui si è imposta una dispersione di gas naturale (G.N.) proveniente da una tubazione installata nell'intercapedine. Le risultanze ottenute permettono di delineare le caratteristiche geometriche e costruttive della parete ventilata che meglio si adattano alla realizzazione di un sistema parete ventilata-rete distribuzione gas, in grado di garantire elevati livelli di sicurezza intrinseca e una versatilità della distribuzione del gas.

### 2.3.2 Modello matematico dello scambio termico

La parete ventilata per molto tempo è stata studiata al fine di migliorare l'efficienza dell'involucro edilizio dal punto di vista dell'efficienza energetica, principalmente per applicazioni estive in climi temperati. Alcuni autori [5], hanno definito "risparmio percentuale di energia" (S) attraverso la relazione seguente, Dove  $Q_0$  e  $Q$  sono rispettivamente il calore proveniente dall'esterno nel caso di parete ventilata chiusa ed aperta. Tale parametro, è un indice fondamentale per stimare di quanto varia il flusso di calore scambiato tra l'ambiente interno ed esterno nel caso di intercapedine ventilata e intercapedine priva di ventilazione (parete ventilata chiusa).

Allo scopo di determinare in maniera analitica il valore di S si può fare riferimento alla seguente relazione[5]:

$$S = 1 - \chi + \gamma z(\varphi - z) \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\chi}{\gamma(H + z(1 - z))}\right) \right]$$

dove i parametri principali che governano il fenomeno sono;  $\varphi$ ,  $z$ ,  $\gamma$ ,  $c$  and  $H$  e sono così definiti:

- $z=R_e/R_t$  è dato dal rapporto tra la resistenza termica  $R_e$  e  $R_t$ , dove  $R_e$  è la resistenza vista tra l'aria di ventilazione e l'esterno,  $R_t$  è la resistenza termica complessiva vista tra l'aria del locale e quella esterna.
- $\chi=R_{t0}/R_t$  è dato il rapporto tra la resistenza termica complessiva vista tra l'aria del locale e l'aria esterna in assenza di ventilazione ( $R_{t0}$ ) e la stessa resistenza termica in presenza di ventilazione ( $R_t$ ).
- $\gamma=\rho_0 W_0 C_p R_{t0} d/L$  è la portata termica specifica pari al prodotto tra la portata termica dell'aria nell'intercapedine e la resistenza termica totale dell'intercapedine chiusa. Con i termini  $\rho_0$ ,  $d$ ,  $L$  si indicano rispettivamente la densità dell'aria, lo spessore dell'intercapedine ventilata e l'altezza della parete. Mentre il termine  $W_0$  rappresenta la velocità dell'aria a ridosso della sezione di imbocco.
- $H$  è un termine di correzione radiativa.

L'andamento della temperatura dell'aria nell'intercapedine può essere descritta, in funzione della coordinata  $x$  ( $0 < x < L$ ) [7]:

$$T(x) = T_m + (T_0 - T_m) \cdot \exp\left(-\frac{\chi x}{\gamma L [H + z(1 - z)]}\right)$$

Dove

$$T_m = z \cdot T_i + (1 - z) \cdot T_e$$

Entrando nello specifico del significato fisico dei singoli parametri,  $\varphi$  è una grandezza adimensionale legata alle condizioni termiche esterne ed interne all'edificio. Il parametro  $\chi$  è il rapporto tra la resistenza termica della parete in assenza di ventilazione e la resistenza della stessa parete con la ventilazione. In fine i parametri  $z$  e  $H$  sono legati rispettivamente alle resistenze termiche dei diversi elementi e all'influenza della radiazione sulle resistenze liminari degli elementi costruttivi. Gli autori hanno definito diverse tipologie di pareti ventilate, distinte per i materiali utilizzati per la realizzazione del pacchetto murario e della facciata esterna. Successivamente hanno stimato il valore di  $S$  al variare della tipologia di parete. Riguardo alle caratteristiche geometriche, nel lavoro citato, è stata fissata un'altezza della parete pari a 15 m e una larghezza del modulo pari a 10 m. Lo spessore dell'intercapedine ventilata è stato posto inizialmente pari 15 cm, mentre successivamente è stato variato al fine di valutarne l'incidenza sulle prestazioni della parete. Relativamente alle condizioni climatiche, gli autori hanno focalizzato l'attenzione sul periodo estivo.

Sintetizzando i risultati ottenuti dagli autori in " " si nota come  $S$  tenda a crescere all'aumentare dello spessore  $d$  dell'intercapedine ventilata, in particolare, il maggiore incremento di  $S$  lo si ha passando da spessori inferiori a 10 cm a spessori prossimi ai 22 cm. Superata tale soglia l'incremento di  $S$  si riduce progressivamente. Per quanto riguarda la scabrezza, nel lavoro sopra citato si nota come all'aumentare della scabrezza dell'intercapedine ventilata,  $S$  diminuisca progressivamente. Tale fenomeno è spiegabile, considerando che per scabrezza elevate, l'aria all'interno dell'intercapedine possiede velocità di filtrazione minori a causa delle maggiori perdite di carico durante il percorso. Nel caso di scabrezze particolarmente elevate, la velocità di filtrazione dell'aria si duce fortemente riducendo a sua volta il valore di  $S$ .

Analizzando l'influenza dell'emissività della superficie esterna della parete ( $\varepsilon$ ), gli stessi autori hanno ottenuto un valore massimo del risparmio percentuale di energia in corrispondenza di  $\varepsilon$  prossimo a 20. Valori minori e maggiori di tal soglia portano una progressiva riduzione di  $S$ . Tale risultati danno informazioni utili sul tipo di materiale da utilizzare come superficie esterna della parete ventilata.

Focalizzando l'attenzione sugli aspetti ambientali, i dati reperibili in letteratura mostrano come il valore  $S$  sia influenzato dalla radiazione solare  $G$ . Il risparmio energetico, come ci si aspetta è maggiore nel caso di forte irraggiamento. All'aumentare dell'irraggiamento, l'edificio è soggetto a maggiori flussi di calore entranti, di conseguenza il flusso d'aria all'interno dell'intercapedine migliora le prestazioni della parete favorendo la dispersione del calore proveniente dall'esterno.

Nei casi fino ad ora analizzati, il valore di  $S$  risulta maggiore di zero (risparmio energetico positivo). Tale risultato evidenzia come nella stagione estiva il flusso di calore proveniente dall'esterno verso l'interno risulti minore quando all'interno dell'intercapedine si instaura un flusso d'aria. Questo conferma che nella stagione estiva, sotto determinate condizioni al contorno, il risparmio energetico ottenibile con l'utilizzo di pareti ventilate è reale.

Nella stagione invernale nel caso in cui l'edificio sia dotato di riscaldamento sia ha  $T_i > T_0$  e  $T_e < T_i$ , dove:

- $T_i$  è la temperatura interna dell'edificio;
- $T_0$  temperatura aria esterna in ombra;
- $T_e$  temperatura parete al sole.

Tali condizioni termiche fanno sì che  $S$  risulti sempre negativo [5]. In altre parole, il flusso termico scambiato tra l'esterno e l'interno è maggiore nel caso di parete ventilata, con un conseguente peggioramento delle prestazioni energetiche dell'involucro. Questo risultato evidenzia come, nella stagione invernale il flusso d'aria nell'intercapedine sia comunque presente. Dal punto di vista strettamente

energetico, è indispensabile ridurre il flusso d'aria all'interno dell'intercapedine nel periodo invernale al fine di ridurre le dispersioni attraverso l'involucro. Tale obiettivo può essere perseguito chiedendo le bocchette di ventilazione dell'intercapedine, o riducendone la sezione utile.

### 2.3.3 Modello matematico del flusso d'aria

#### 2.3.4 Modello matematico del flusso d'aria da letteratura

Gli stessi autori hanno inoltre investigato riguardo all'aspetto più strettamente fluidodinamico, in particolare partendo dalle stesse ipotesi del modello di scambio termico, hanno elaborato una formulazione teorica per calcolare la velocità di imbocco all'interno dell'intercapedine ventilata  $W_0$  [5]:

$$W_0^2 = gL \sin \theta \left[ 1 - T_0 < \frac{1}{T} > \right] \left[ \frac{\lambda_i - 1}{2} + \frac{L \lambda < T >}{2DT_0} + \frac{\lambda'_u + 1}{2} \frac{T_u}{T_0} \right]^{-1}$$

In tale formulazione  $\lambda$  è il fattore di attrito all'interno dell'intercapedine,  $\lambda_i$  e  $\lambda_u$  sono i fattori di attrito delle perdite di carico localizzate sulla sezione d'ingresso e su quella di uscita,  $g$  è l'accelerazione di gravità e  $\theta$  è l'angolo di inclinazione della parete.  $W_0$  inoltre dipende dal campo termico attraverso la temperatura dell'aria in ingresso, assunta pari a quella dell'aria esterna  $T_0$  all'ombra, attraverso la temperatura  $T_u$  dell'aria in uscita dal canale, attraverso i valori medi  $<T>$  della temperatura dell'aria e della sua inversa  $<1/T>$  calcolati su tutta la lunghezza del canale. Le caratteristiche costruttive dell'intercapedine sono descritte dal diametro idraulico  $D$  e dall'altezza della parete  $L$ . Tale relazione esprime la  $W_0$  come funzione sia del campo termico, sia dei parametri costruttivi della parete. Gli andamenti di  $S$  e  $W_0$  autori mostrano come il maggior valore di velocità di imbocco lo sia ha per uno spessore di poco superiore ai 17 cm. Parallelamente, il maggiore beneficio in termini di risparmio percentuale di energia  $S$ , cresce progressivamente fino a valori dello spessore di 20 cm, oltre tale valore l'incremento di  $S$  diminuisce progressivamente. In base ai risultati di letteratura analizzati, si evince che dal punto di vista costruttivo, uno spessore ottimale ai fini di massimizzazione del risparmio energetico estivo sia pari a 18 cm. Mentre relativamente alla massimizzazione della velocità di flusso all'interno dell'intercapedine espressa dalla velocità di imbocco, lo spessore ottimale risulti compreso tra i 15 e i 18 cm, in questo range di spessori le velocità di imbocco stimate dagli autori oscillano tra i 0.6 e 0.8 m/s.

#### 2.3.5 Analisi Parametrica della parete ventilata

Allo scopo di approfondire il comportamento fluidodinamico della parete e definire i parametri geometrici che particolarmente influenzano la velocità di imbocco dell'aria nell'intercapedine, si è condotta un'analisi parametrica riguardante l'incidenza dei principali parametri costruttivi sulla velocità di imbocco dell'aria all'interno dell'intercapedine. In particolare sono state valutate le incidenze dei seguenti parametri:

- Altezza parete;
- Larghezza modulo parete ventilata;
- Scabrezza parete.

Anche in questo caso si è focalizzata inizialmente l'attenzione sulla situazione estiva. Al fine di ridurre i gradi di libertà dell'analisi parametrica ed avere nel contempo un'esauriente visione dell'incidenza dei parametri sopra citati, si scelto di variare di volta in volta il solo parametro di interesse mantenendo costante il resto delle grandezze fisiche e termo-igrometriche che influenzano il fenomeno descritto dall'equazione riportata nel paragrafo 2.3.4.

Si rimanda invece al paragrafo 2.3.6 per un'analisi di tipo fluido termo fluidodinamico dell'intera parete ventilata.

##### 2.3.5.1 Incidenza altezza parete

Entrando nello specifico dell'incidenza dell'altezza della parete sulla velocità di imbocco, sono stati mantenuti costanti le seguenti grandezze:

- $d$  spessore intercapedine : 0.1 m;
- $l$  larghezza modulo parete: 1 m;
- $\lambda_i$  scabrezza imbocco: 0.5;
- $\lambda_u$  scabrezza sbocco: 1;
- $\lambda_u$  scabrezza pareti: 0.25;
- $T_0$ : 28 °C; ( temperatura aria esterne in condizioni di ombreggiamento)
- $T_u$ : 37° C; ( temperatura aria al ridosso dell'uscita dall'intercapedine ventilata)
- $T_e$  (temperatura parete al sole): 39 °C , stimata in base all'irraggiamento ( 400 W/m<sup>2</sup>) e al coefficiente di assorbimento della facciata esterna;
- $T_{in}$  temperatura interna dell'edificio: 24 °C;
- $\langle T \rangle$ : temperatura media nell'intercapedine

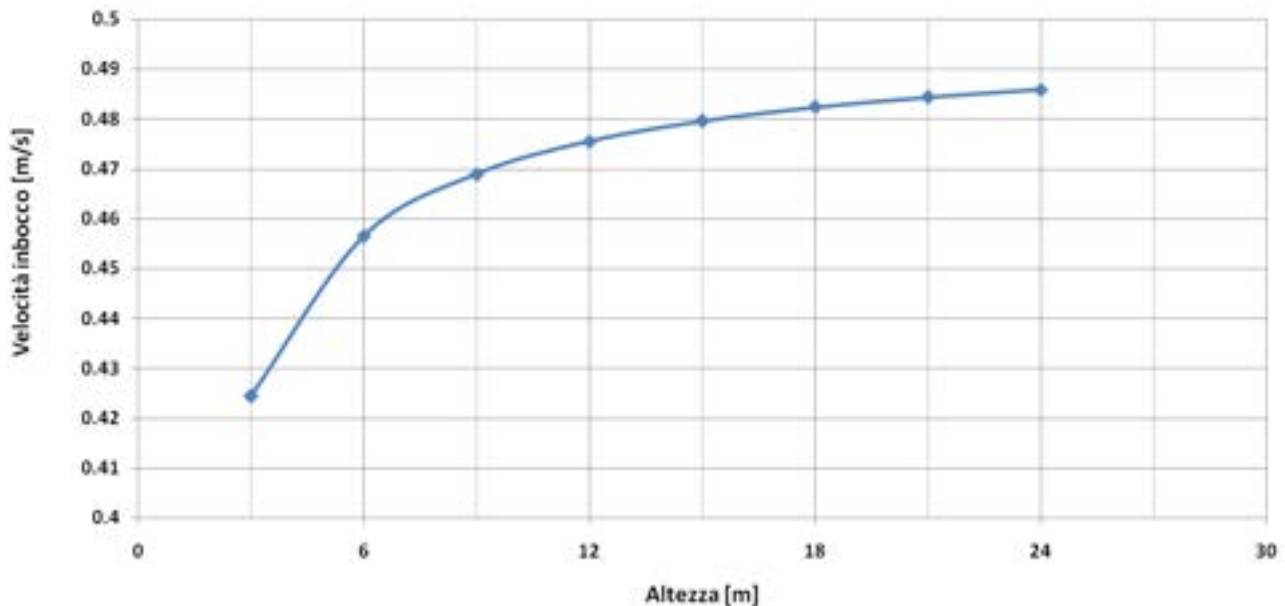


Figura 11: Andamento di  $W_0$  con la altezza parete

Come si può osservare, si ha un incremento di velocità considerevole passando da un'altezza di 3 m ai 9 metri, in questo range di altezze la velocità passa dai 0.425 m/s a 0.470 m/s ovvero un incremento percentuale di poco superiore al 9 %. Per altezze superiori l'incremento ottenibile è ridotto, si può infatti osservare come il passaggio da 9 metri a 18 metri provochi un aumento della velocità di imbocco è del 3%.

### 2.3.5.2 Incidenza Larghezza modulo

Successivamente si è fatta variare la larghezza del modulo della parete ventilata, mentendo costante l'altezza della parete ( $l = 6$  m) e gli altri parametri sopra citati.

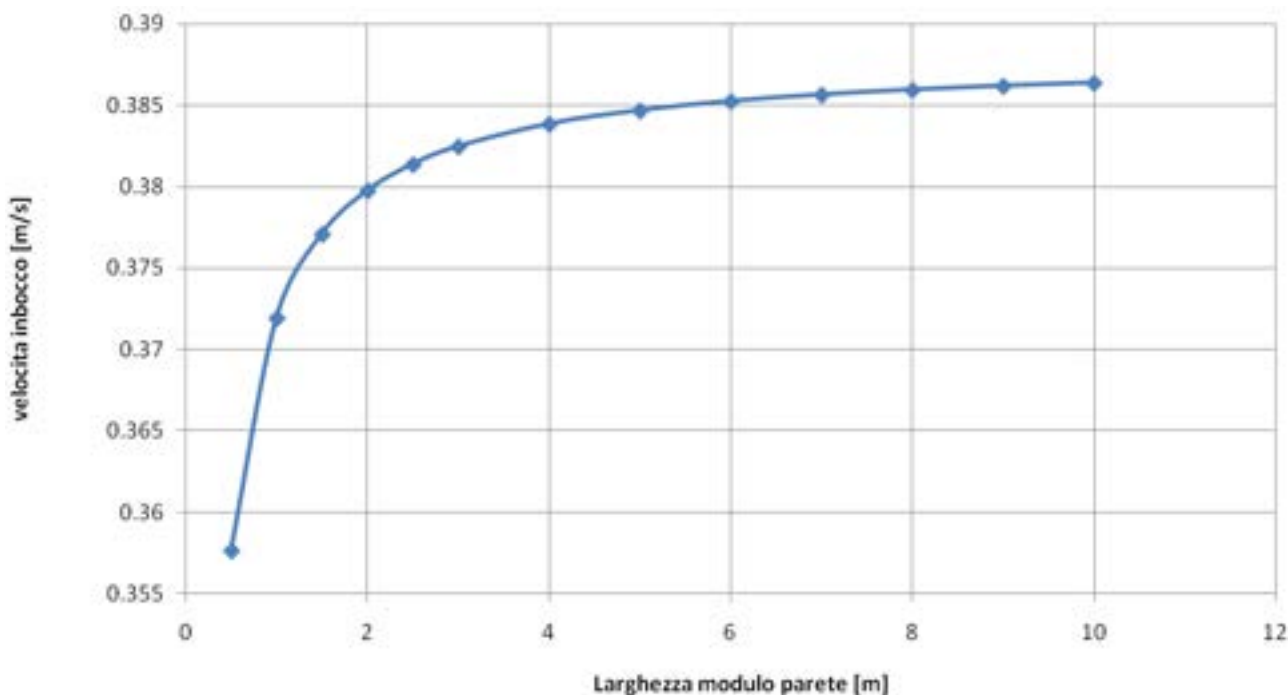


Figura 12: Andamento di  $W_0$  larghezza modulo

Si può facilmente notare che superati i 2 metri di larghezza l'incremento di velocità si riduce progressivamente. Passando invece da un modulo largo 0.5 m ad un modulo con larghezza pari a 2 metri si ha un incremento della velocità del 6.5 %.

### 2.3.5.3 Incidenza fattore di Scabrezza

Un parametro sicuramente molto rilevante ai fini della definizione della velocità di imbocco e quindi delle condizioni di flusso nell'intercapedine è il fattore d'attrito della pareti  $\lambda$ . Si riporta di seguito l'andamento della velocità  $W_0$  in funzione della scabrezza delle pareti, avendo fissato un'altezza della parete pari a 6 m e una larghezza del modulo pari a 1 m. Le restanti grandezze sono rimaste invariate rispetto al caso iniziale. Nel caso di fattori di attrito inferiori 0.1 la velocità è superiore a 0.65 m/s, all'aumentare del fattore di  $\lambda$  la velocità decresce con legge non lineare, in particolare si evince che in corrispondenza di valori  $\lambda = 0.5$  (coincidente con il fattore di attrito all'imbocco) si ha una riduzione percentuale pari al 46 % rispetto a quella che si ha per un fattore di attrito di 0.1. Tale parametro è in ogni caso di difficile stima ed è fortemente correlato alla tecnologia costruttiva e alla natura dei materiali.

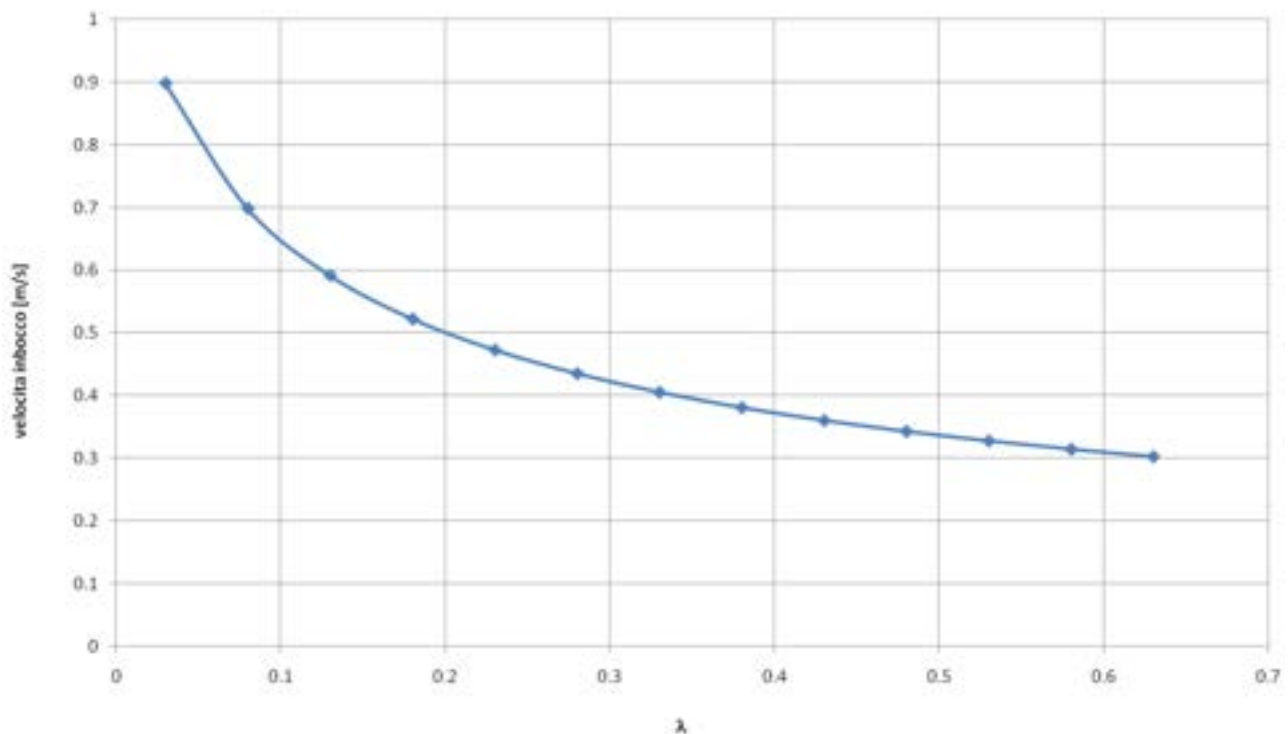


Figura 13: Andamento di  $W_0$  con il fattore di scabrezza  $\lambda$

### 2.3.6 Analisi termo fluido dinamiche

#### 2.3.6.1 Parete Standard

Allo scopo di avere una visione completa sul fenomeno della filtrazione all'interno dell'intercapedine, si è proceduto alla realizzazione di modellazioni fluidodinamiche della parete ventilata, in grado di ricostruire sia il campo di velocità sia i campi termici e di pressione all'interno del volume di controllo considerato. La geometria del modello iniziale è in due dimensioni, tale scelta ha permesso di avere una visione esauriente sul fenomeno studiato riducendo sensibilmente i tempi di elaborazione.

Il primo modello rappresenta una tipica parete ventilata (Figura 14), le cui caratteristiche geometriche sono riportate in Tabella 1.

Tabella 1 Caratteristiche geometriche parete ventilata standard

Caratteristiche Geometriche	
Altezza Parete [m]	3
Spessore intercapedine [m]	0.08
Altezza Bocchetta Entrata [m]	0.10
Altezza Bocchette Uscita [m]	0.10

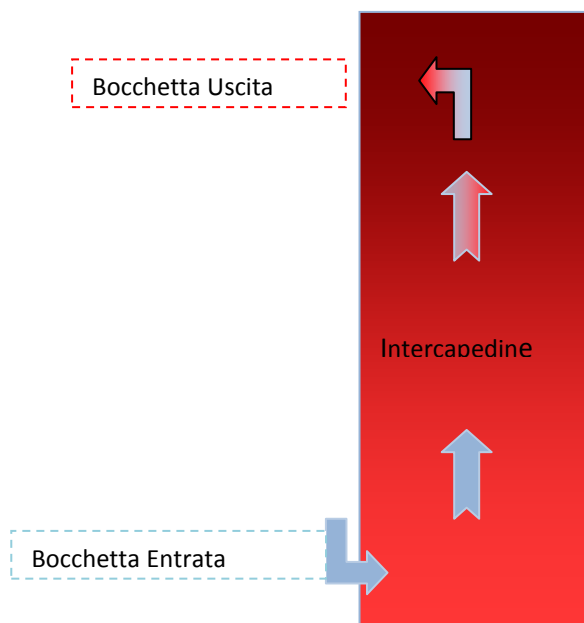


Figura 14: Modello di calcolo bidimensionale

Il modello rappresenta una sezione longitudinale della parete, ed è costituito da una superficie disperdente verso l'esterno e da una superficie disperdente verso l'interno dell'edificio. Sono state inoltre inserite le bocchette di imbocco e di sbocco dell'intercapedine ventilata.

Le condizioni al contorno sono state definite in base ai risultati ottenuti dall'analisi parametrica. Nel caso di una parete con spessore dell'intercapedine pari a 0.08 metri e alta 3 metri, si genera nella sezione di imbocco una velocità media di 0.35 m/s, tale valore è stato posto come condizione al contorno sulla bocchetta di entrata.

In base alle velocità previste mediante l'analisi parametrica e alla geometria dell'intercapedine ventilata, si è imposto un moto in regime turbolento. Sulla parete esterna ed interna è stata posta una temperatura rispettivamente di 313 K (40 °C) (dovuta all'irraggiamento incidente) e 297 (24 °C) (Tabella 2).

Tabella 2 Sintesi condizioni al contorno parete standard

Condizioni al Contorno	
Bocchetta Entrata	Velocità in entrata (pari a 0.35 m/s)
Bocchette Uscita	Massa in uscita
Parete esterna	Temperatura parete al sole ( T= 40 °C)
Parete Interna	Temperatura parete intenta ( T =26 °C)

Si riportano di seguito i profili di velocità, di temperatura e di pressione totale (somma della pressione dinamica e statica dell'aria) nei pressi di 2 sezioni distinte della parete ventilata rispettivamente a quota 0.6 m e 2.7 m dal piano campagna (Figura 15, Figura 16, Figura 17).

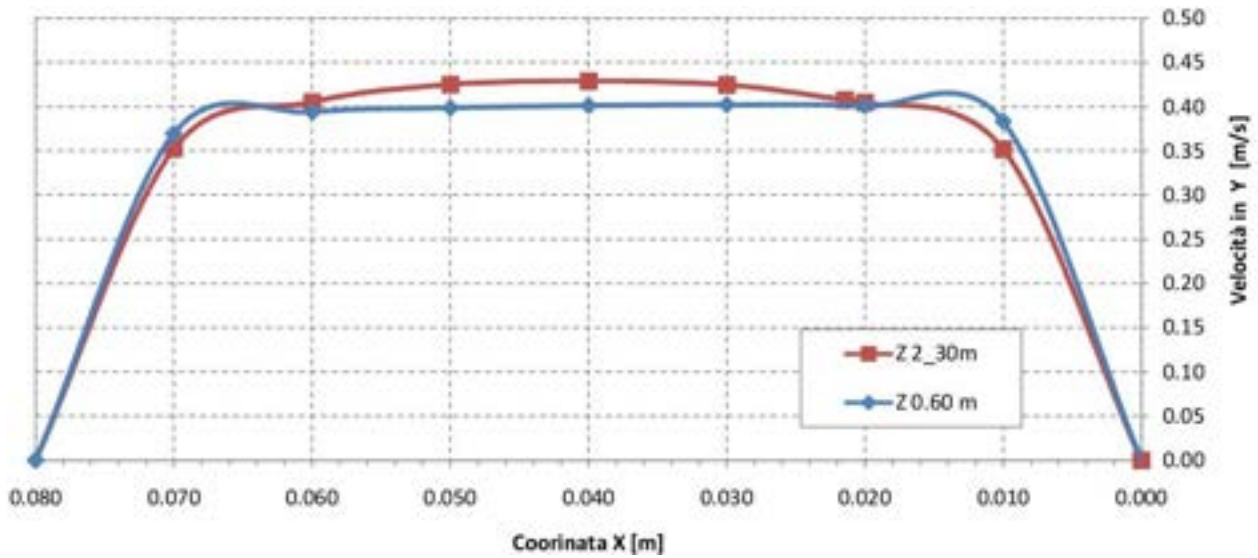


Figura 15 Profili di velocità in due sezioni diverse della parete

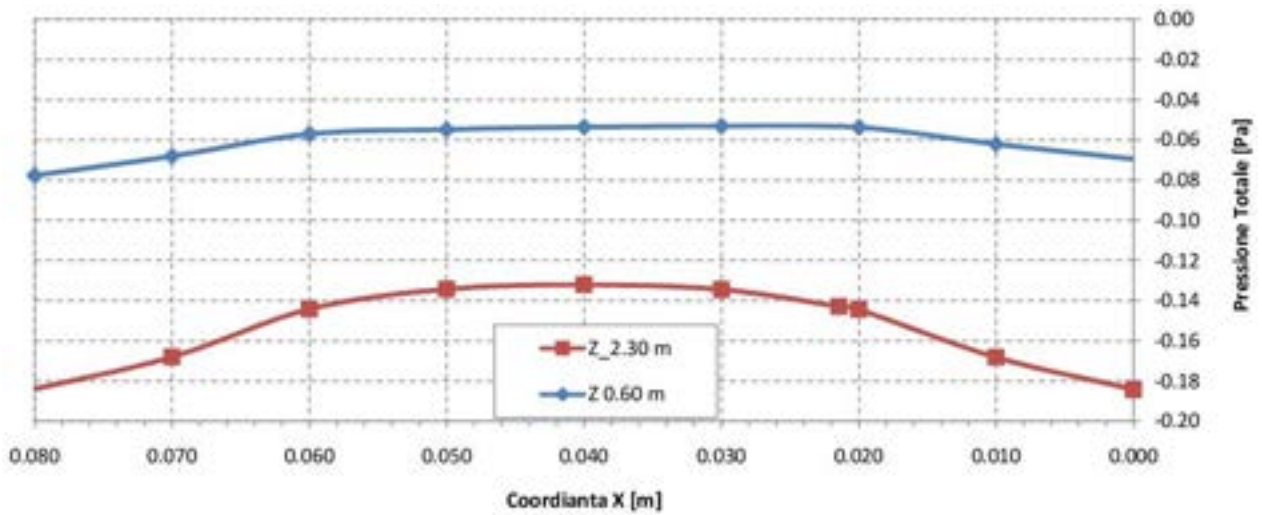


Figura 16 Profili delle pressioni totali in due sezioni diverse della parete

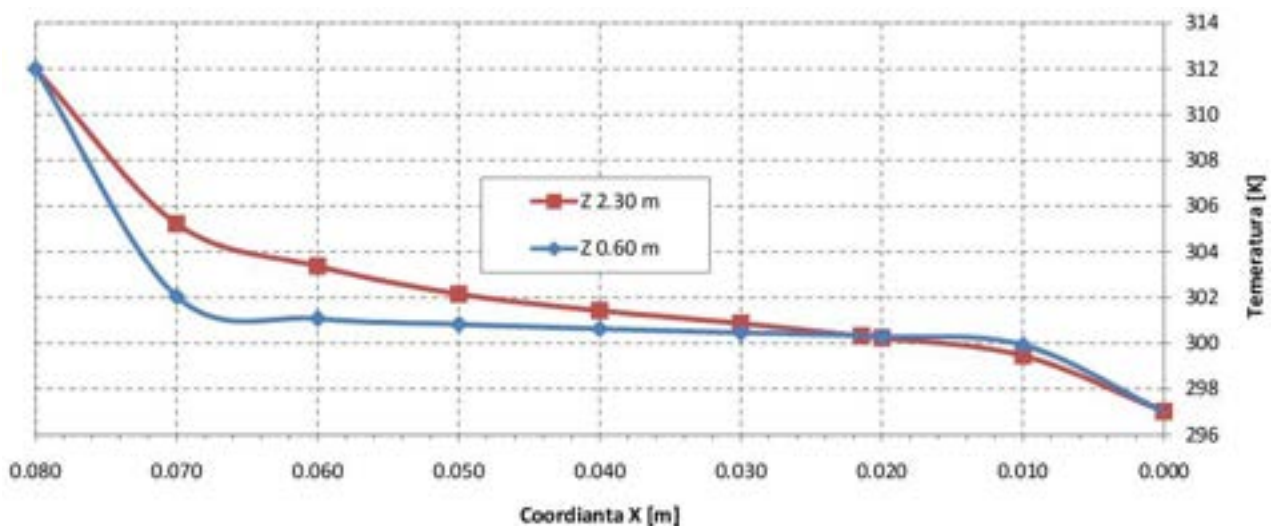


Figura 17 Profili delle temperature lungo due sezioni della parete

### 2.3.6.2 Modello di Parete con alloggiamento impianto

Al fine di valutare come le grandezze sopra analizzate si modificano nel caso in cui vi sia un ostacolo all'interno dell'intercapedine, come ad esempio l'alloggiamento di eventuali tubazioni impiantistiche, si è scelto di costruire un secondo modello di parete al cui interno è presente una tubazione con sezione pari 1/2" alla quota di circa 0.60 m da terra.

Tabella 3 Caratteristiche Geometriche

Caratteristiche Geometriche	
Altezza Parete [m]	3
Spessore intercapedine [m]	0.08
Altezza Bocchetta Entrata [m]	0.10
Altezza Bocchette Uscita [m]	0.10
Diametro Tubazione [inc]	1/2"
Quota tubazione [m]	0.60

Tabella 4 Condizioni al Contorno parete con alloggiamento impiantistico.

Condizioni al Contorno	
Bocchetta Entrata	Velocità in entrata (pari a 0.35 m/s)
Bocchette Uscita	Massa in uscita
Parete esterna	Temperatura parete al sole ( T= 40 °C)
Parete Interna	Temperatura parete intenta ( T =26 °C)

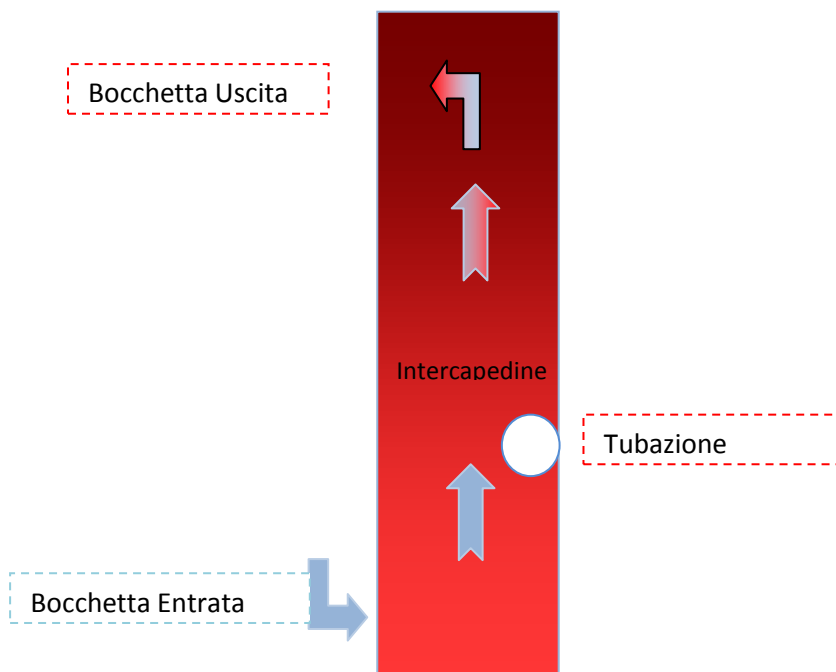


Figura 18 Modello con alloggiamento impianto

In questo caso è stato interessante valutare come il campo di velocità venga influenzato dalla presenza di tale tubazione. Si riportano di seguito gli estratti della simulazione fluido-dinamica condotta.

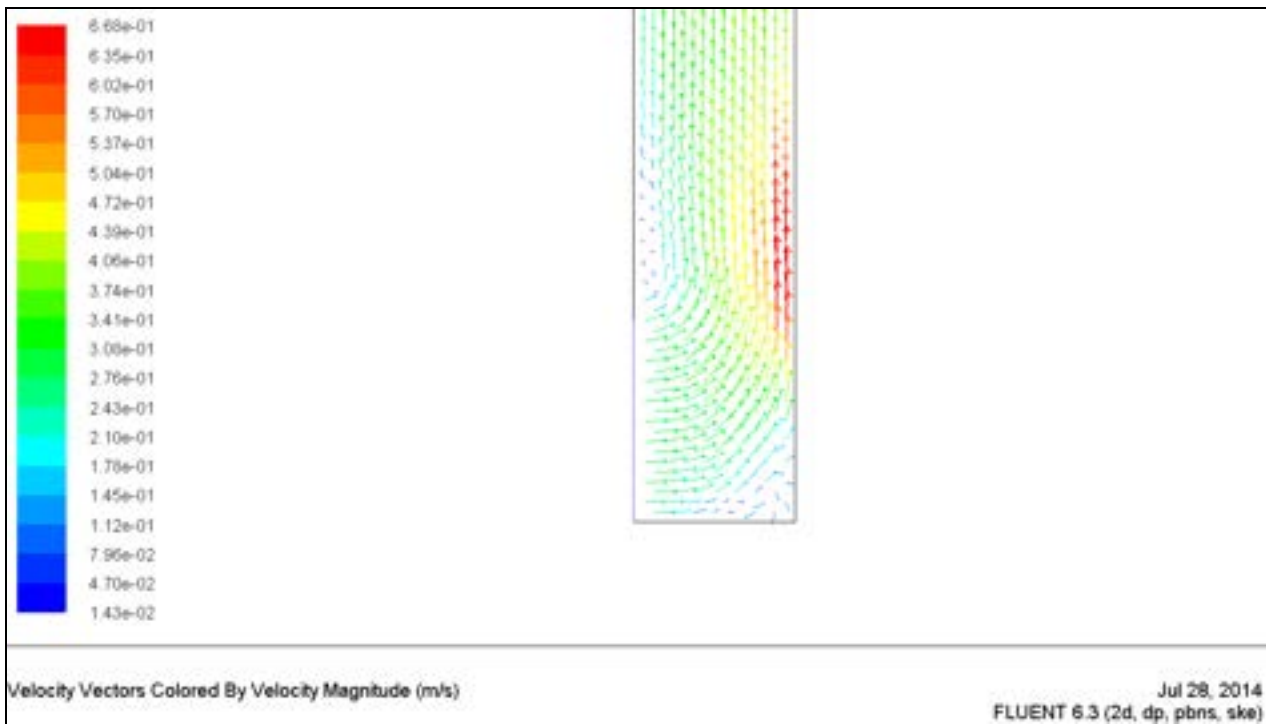


Figura 19: campo di velocità a ridosso della bocchetta di entrata

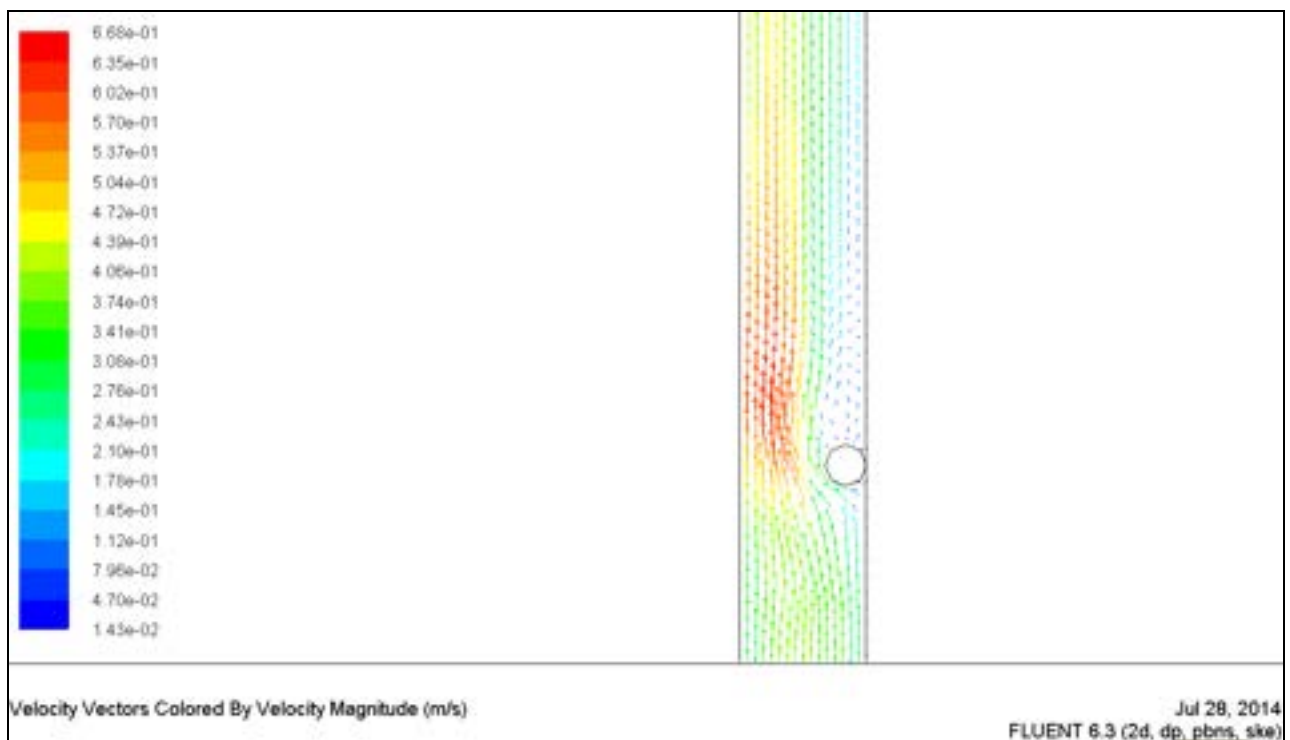


Figura 20: campo di velocità nei pressi della tubazione.

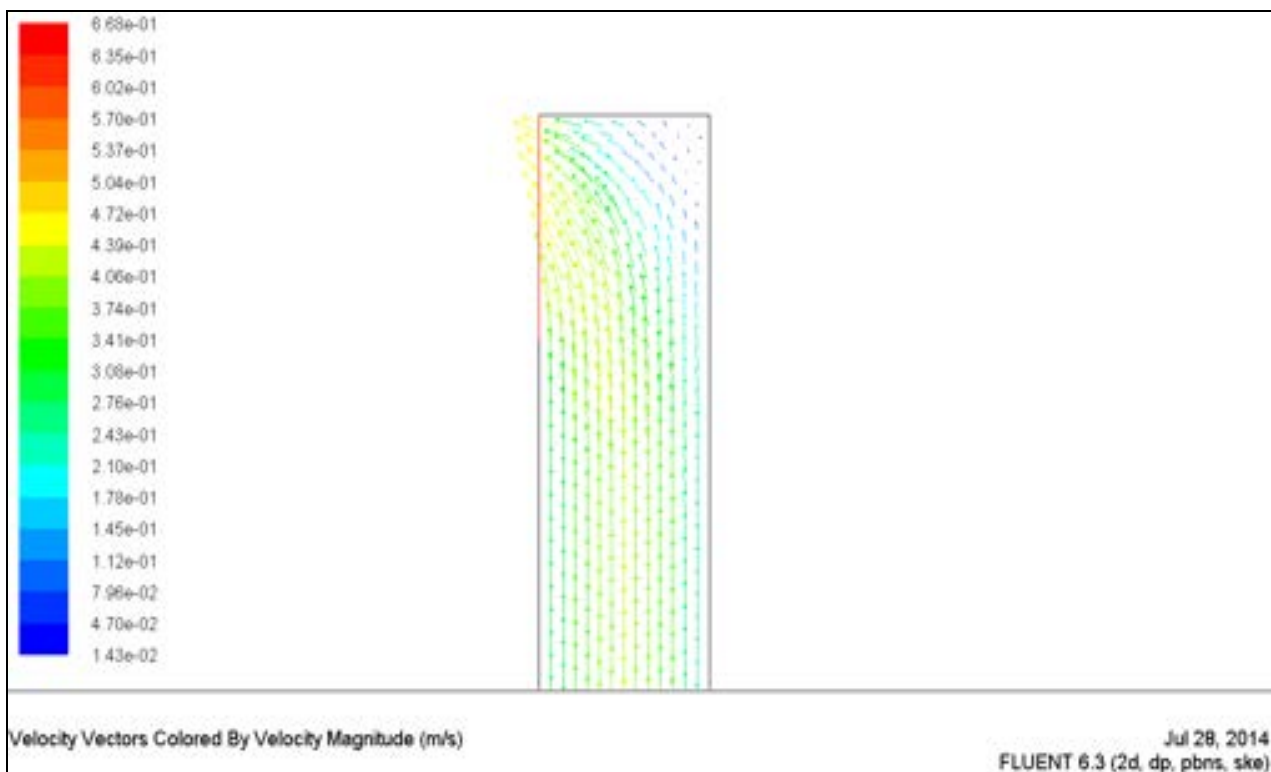


Figura 21: campo di velocità a ridosso della bocchetta di uscita.

Con lo scopo di evidenziare nel dettaglio l'andamento delle velocità alle diverse quote, si riportano di seguito i profili di velocità relativamente alla sezione prima della tubazione ( $z = 0.55$ ), dopo la tubazione ( $z = 0.65$ ) e in condizioni indisturbate ( $z = 2.30\text{m}$ ).

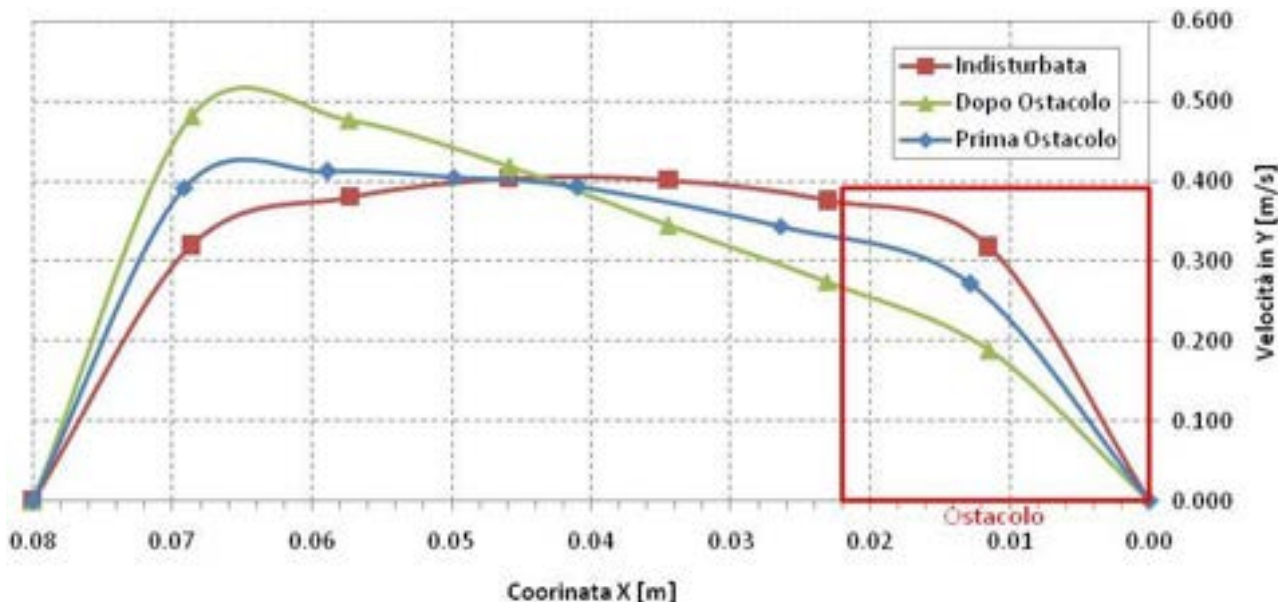


Figura 22 Profili velocità lungo tre sezioni trasversali della parete.

Analizzando i profili delle velocità alle diverse quote si nota come la sezione prima e dopo l'ostacolo siano fortemente influenzate dalla presenza della tubazione, in particolare si nota come i profili di velocità siano asimmetrici con valori minori in corrispondenza del lato in cui è presente l'ostacolo. Prendendo in esame la sezione posta in condizioni indisturbate (quota 2.30 m dal piano campagna ovvero 1.65 metri dalla tubazione) si nota come il profilo di velocità sia coerente con quello ottenuto nel caso di assenza di

tubazione. In termini assoluti, in questa nuova configurazione, la velocità lungo la sezione posta a 2.3 m, risulta ridotta di circa il 7.5 % rispetto al caso di parete standard.

Tabella 5 Alterazione campo di velocità a causa della tubazione

	Parete Standard	Parete con alloggiamento	Riduzione percentuale
Velocità in Y (m/s)	0.40	0.37	7.5 %

Si riportano di seguito i profili delle pressioni totali e delle temperature per le tre sezioni sopra citate.

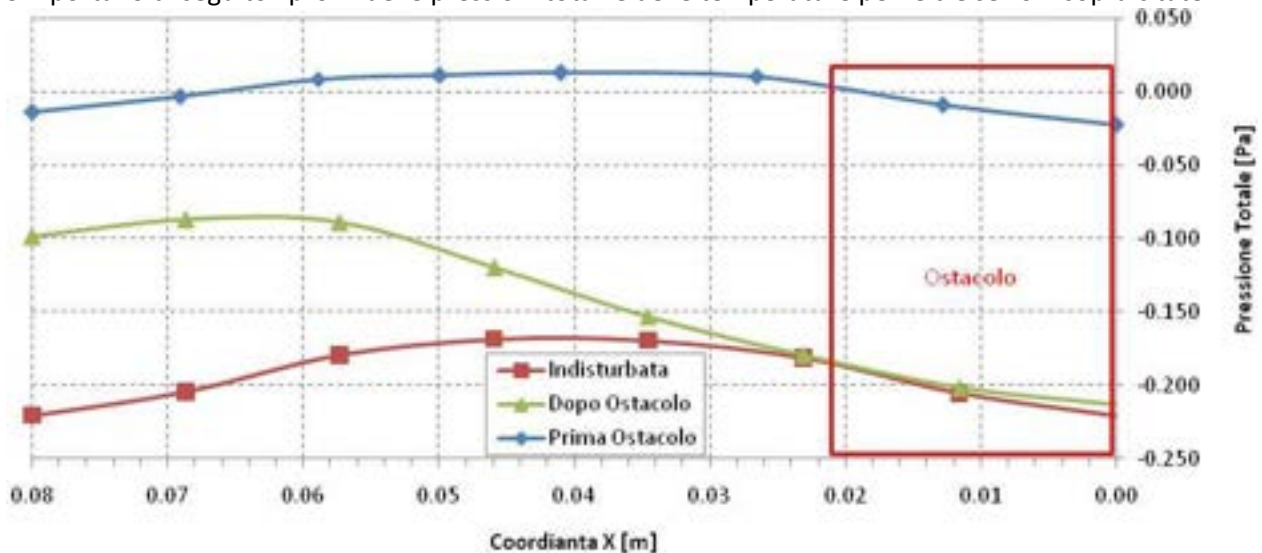


Figura 23 Profili delle pressioni totali

Si può notare come anche le pressioni totali (somma della pressione statica e di quella dinamica) risentano della presenza dell'ostacolo, in particolare l'influenza è particolarmente accentuata per la sezione posta dopo l'ostacolo, in questo caso sia ha un profilo asimmetrico con valori ridotto nella zona posta dietro la tubazione. I profili di temperatura non risultano influenzati dalla presenza della tubazione, in particolare si riscontra un andamento coerente con quello ottenuto nel caso di parete standard.

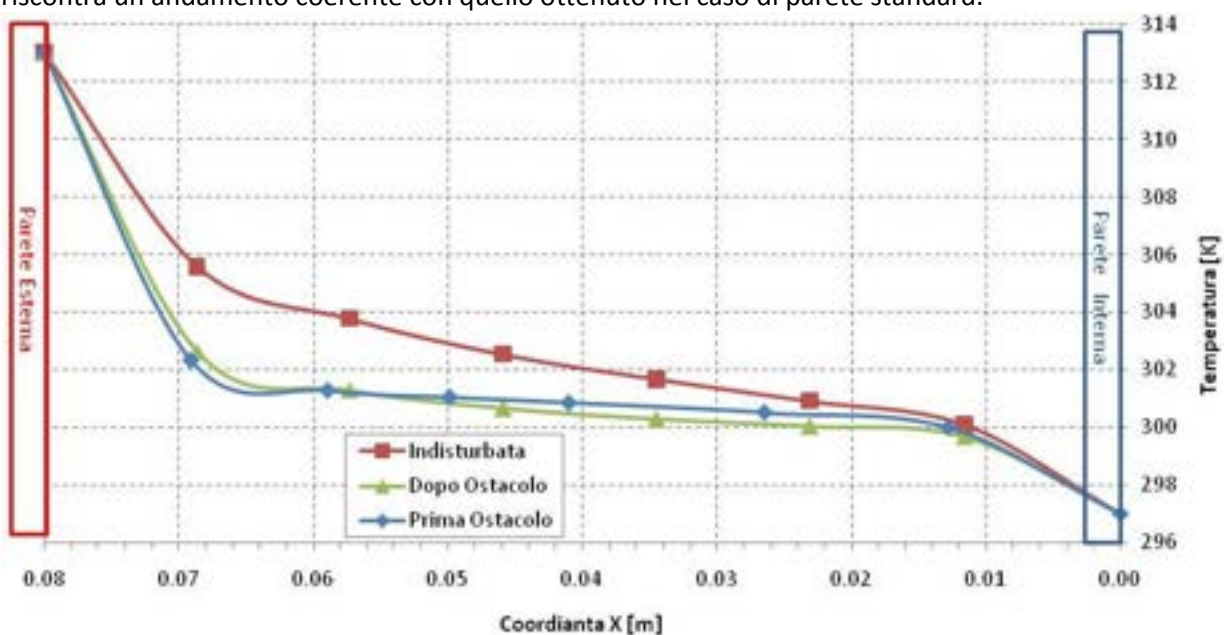


Figura 24 Profilo delle temperature per tre sezioni della parete

### 2.3.6.3 Dispersione di sostanze pericolose all'interno dell'intercapedine ventilata

Le analisi precedenti hanno evidenziato l'andamento delle principali grandezze che governano il fenomeno di filtrazione d'aria all'interno della parete ventilata. Nel paragrafo seguente vengono riportate i risultati dell'analisi fluidodinamica riguardante la capacità di dispersione e diluizione di sostanze inquinanti e pericolose all'interno dello spessore ventilata a causa del campo di velocità caratteristico della parete ventilata. Nel dettaglio, considerando il modello di parete introdotto nel paragrafo 2.3.6.2, si è deciso di simulare una dispersione di gas naturale(G.N.) (con densità pari a 0.7 in condizioni standard) , proveniente dalla tubazione inserita nell'intercapedine, valutando come la concentrazione di tale sostanza si distribuisca all'interno dell'intercapedine stessa. In particolare, si è valutata la concentrazione molare del G.N. al variare della distanza dalla sorgente di dispersione. Inizialmente, si è deciso di utilizzare un modello in due dimensioni, tale scelta ha permesso di ridurre i gradi di libertà del sistema al fine di avere una visione chiara sulle grandezze che principalmente influenzano il fenomeno di dispersione all'interno dell'intercapedine. Contestualmente si è ridotto in questo modo il tempo di calcolo di ogni simulazione. Si riporta di seguito un'esemplificazione del modello di parete considerata con le relative caratteristiche geometriche.

Tabella 7. Relativamente all'immissione di G.N. si è considerata una dispersione uniformante distribuita su tutta il perimetro circolare della tubazione.

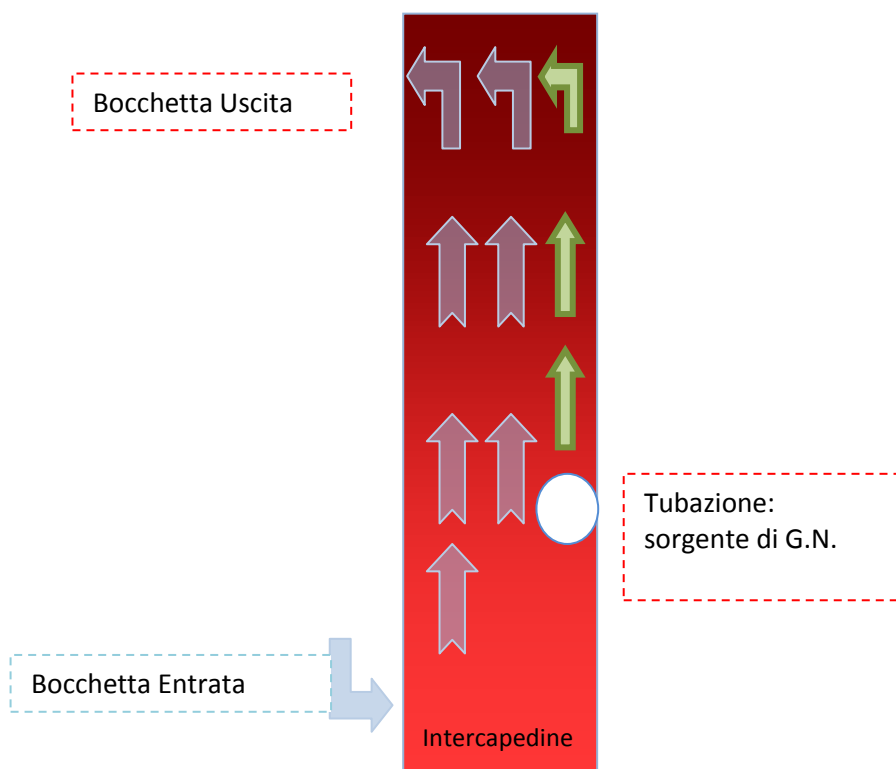


Figura 25 Modello di parete con dispersione di G.N.

Tabella 6 Caratteristiche Geometriche

Caratteristiche Geometriche	
Altezza Parete [m]	3
Spessore intercapedine [m]	0.08
Larghezza modulo parete [m]	0.20
Altezza Bocchetta Entrata [m]	0.10

Altezza Bocchette Uscita [m]	0.10
Quota tubazione [m]	0.65

Tabella 7 Condizioni al Contorno parete con dispersione di G.N.

Condizioni al Contorno	
Bocchetta Entrata	Velocità in entrata (pari a 0.35 m/s)
Bocchette Uscita	Massa in uscita
Parete esterna	Temperatura parete al sole ( T= 40 °C)
Parete Interna	Temperatura parete intenta ( T =26 °C)
Tubazione	Immissione G.N. (0.5 l/h)

In questo caso è stato indispensabile introdurre un nuovo tipo di fluido in grado di rappresentare adeguatamente la reologia e le caratteristiche termiche della miscela aria-G.N., evidenziando le caratteristiche della miscela al variare del grado di concentrazione del G.N.. Il campo di velocità atteso, unitamente alle caratteristiche del fluido di riferimento e alla geometria del volume di controllo hanno reso necessario anche in questo caso la considerazione di un moto puramente turbolento. Si riportano in figura Figura 26 e in Figura 27 rispettivamente gli andamenti della densità e della temperatura della miscela all'interno dell'intercapedine. Come si può osservare al disotto della sorgente di immissione di G.N. il valore della densità coincide con quello relativo all'aria per il range di temperatura di lavoro. Tale risultato sottolinea come la minore densità del G.N. ( $0.7 \text{ kg/m}^3$ ), unitamente al campo di velocità ascensionale dell'aria, non permette la formazione di sacche di G.N. al disotto della sorgente.

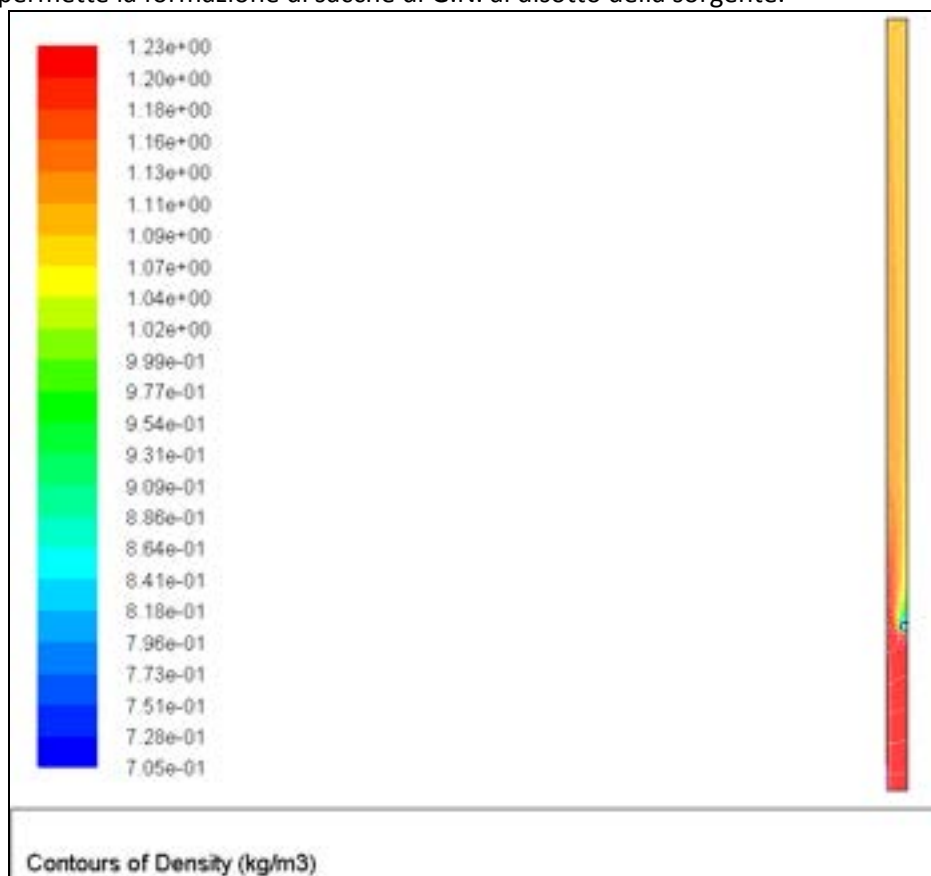


Figura 26 Andamento della Densità della miscela aria-G.N.

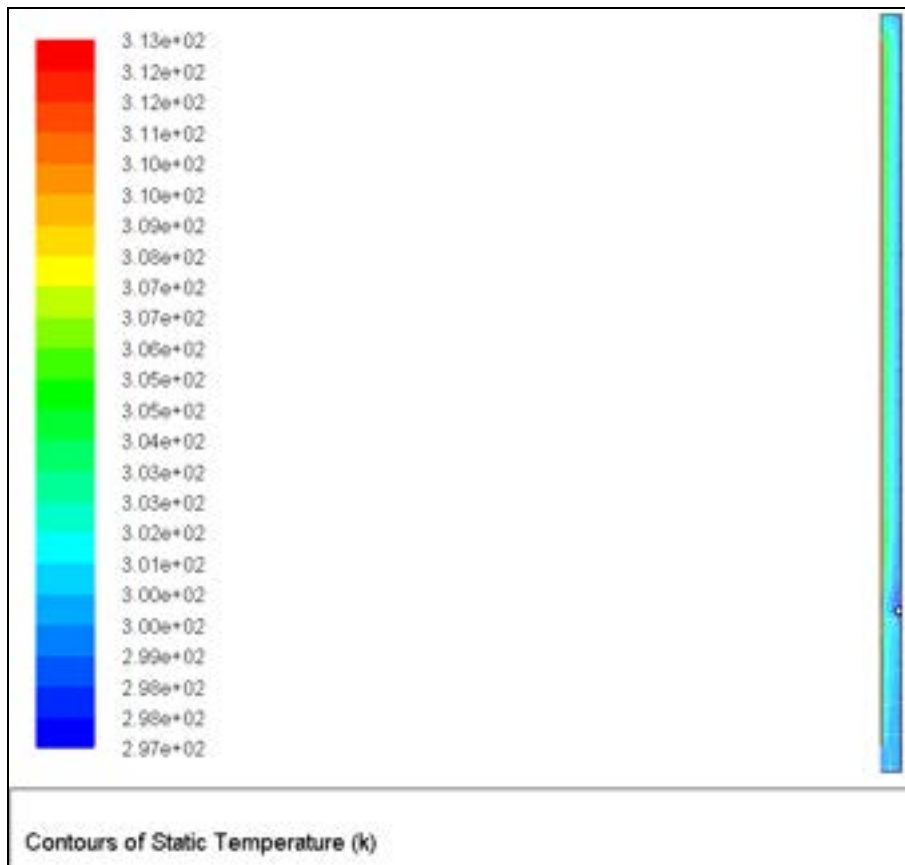


Figura 27 Campo di temperatura

Al fine di dare un quadro dettagliato sull'andamento della concentrazione di G.N., si riportano in Figura 29 l'andamento della concentrazione molare del G.N. lungo sezioni trasversali poste a diverse quote dal piano campagna, mentre la sorgente di G.N. è stata posta a 0.65 m da piano campagna.

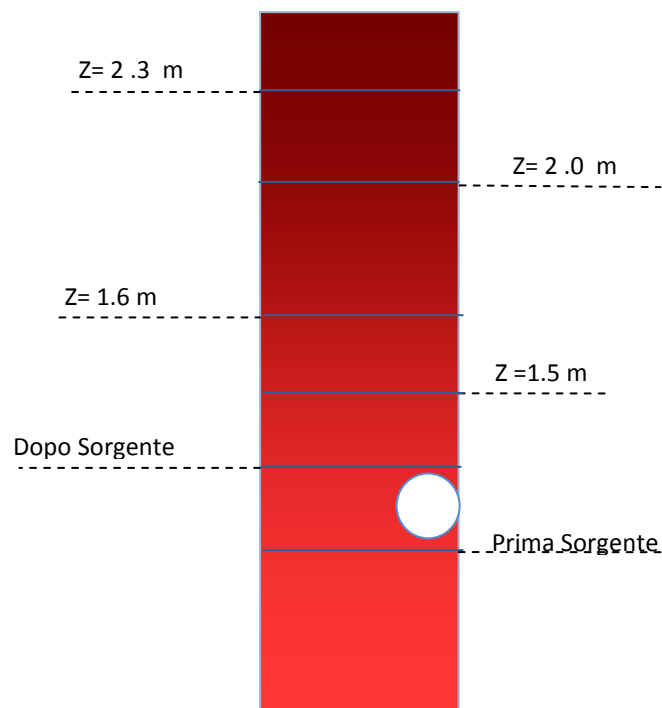


Figura 28 Sezioni trasversali osservate

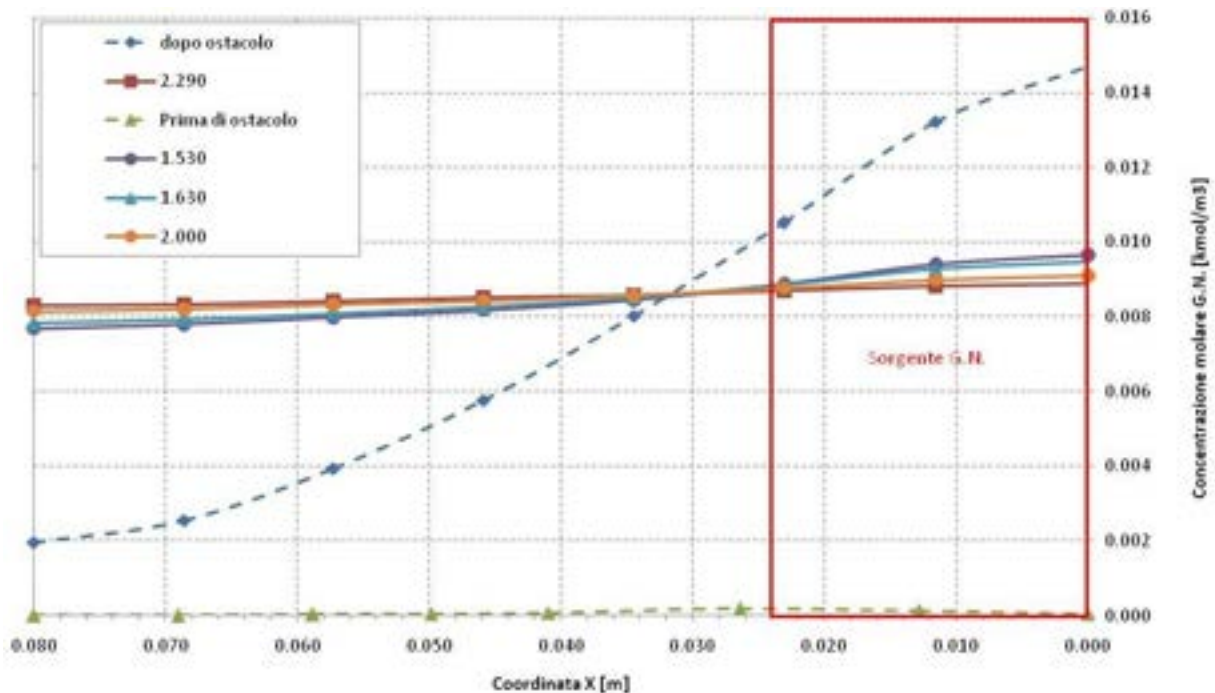


Figura 29 Andamento della concentrazione di G.N., lungo sezioni trasversali della parete ventilata

Come si può osservare, lungo la sezione posta prima della sorgente di G.N., la concentrazione molare risulta nulla, confermando quanto ci si aspetta visto la minore densità del G.N. rispetto all'aria (densità G.N. circa il 57 % di quella dell'aria). Riguardo alla sezione posta immediatamente dopo la sorgente, la concentrazione molare assume un picco di  $0.015 \text{ kmol/m}^3$  in corrispondenza dell'area della sezione interessata dalla dispersione. Osservando le restanti sezioni, è evidente come in ognuna di esse, la concentrazione sia pressoché uniforme su tutta la sezione, con valori lievemente superiori nell'area interessata direttamente dalla flusso di dispersione. Confrontando le concentrazioni medie delle diverse sezioni, si nota come già alla quota di 1.5 metri dal piano campagna (0.9 m dalla sorgente), si ha una riduzione della concentrazione molare del 40 % rispetto alla sezione posta dopo la sorgente. Tale riduzione cresce fino al valore 42 % nel caso della sezione posta a quota 2.3 m dal piano campagna.

Il modello bidimensionale utilizzato, permette di valutare le potenzialità di dispersione bidirezionale dell'intercapedine escludendo la dispersione nella terza dimensione. I risultati ottenuti, sono quindi non esaustivi riguardo all'analisi delle dispersione, ad ogni modo danno dei valori cautelativi dal punto di vista della sicurezza nei confronti di atmosfere esplosive.

Al fine di ottenere risultati più aderenti alla realtà si è deciso di costruire un equivalente modello tridimensionale della parete con il quale valutare la reale capacità di dispersione e diluizione del G.N. della parete ventilata. Il modello tridimensionale realizzato è riportato in Figura 30. Nel dettaglio sono state mantenute costanti le principali caratteristiche geometriche della parete, quali altezze, spessore intercapedine, sezione di entrata e uscita, mentre si è deciso di considerare una larghezza del modulo di parete ventilata pari a 0.20 m (

Tabella 8). In base a tali caratteristiche geometriche e ai risultati dell'analisi parametrica del paragrafo 2.3.5, si può stimare una velocità di imbocco dell'aria pari a 0.35 m/s. La portata di G.N. dispersa è stata mantenuta costante e pari a 0.5 l/h e proviene dalla tubazione presente all'interno dell'intercapedine (Tabella 9).

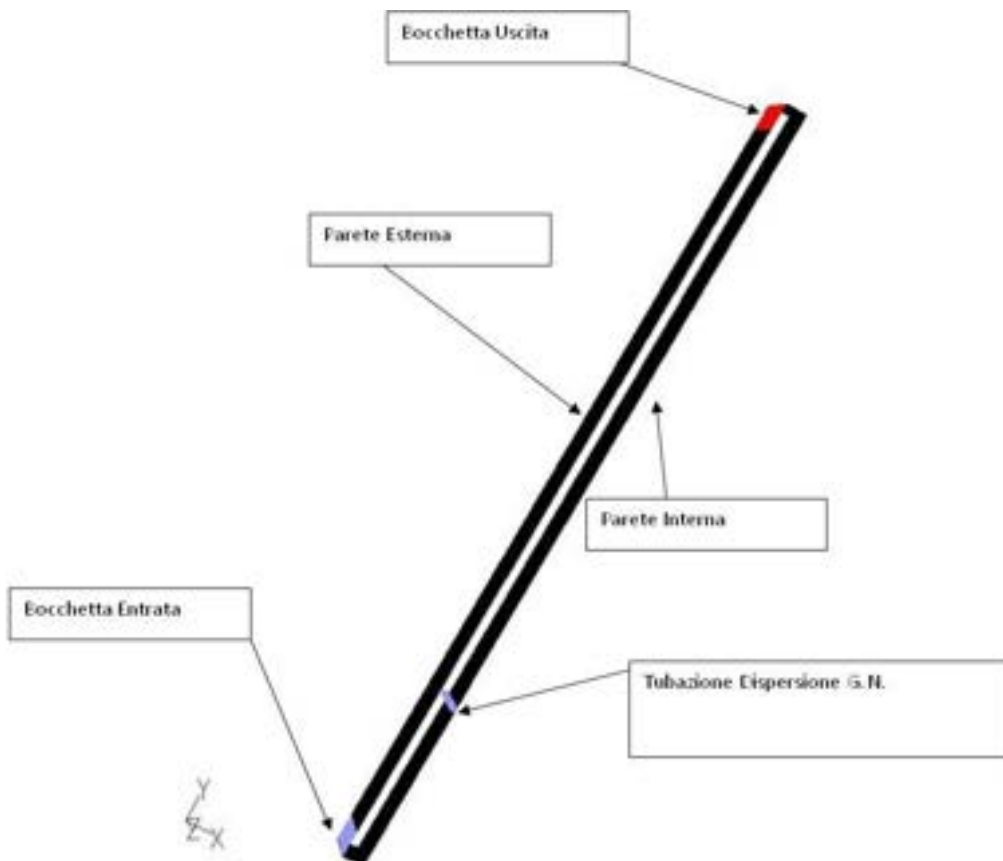


Figura 30 Modello tridimensionale parete ventilata, visione laterale

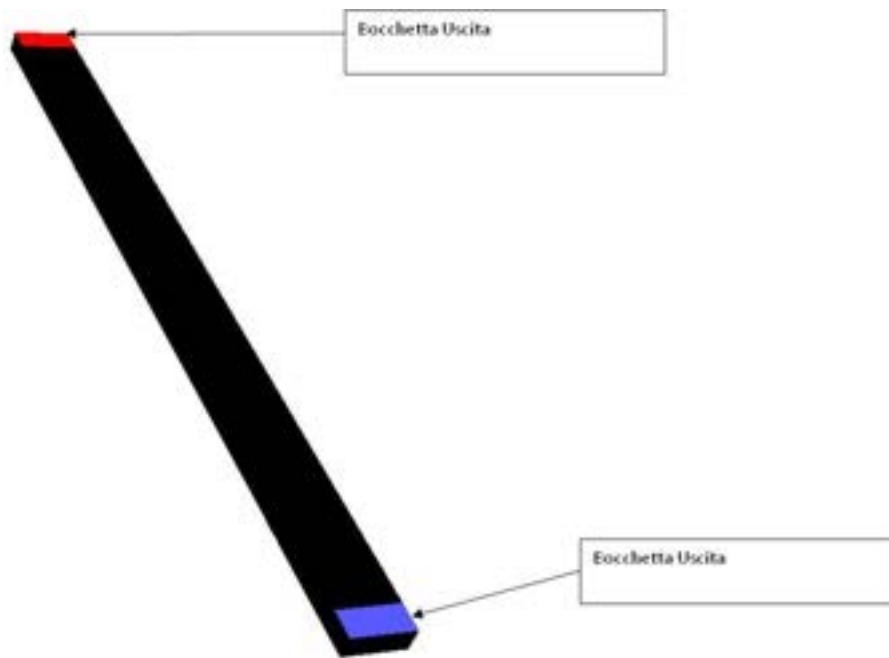


Figura 31 Modello tridimensionale parete ventilata, visione frontale.

Tabella 8 Caratteristiche geometriche modello tridimensionale parete ventilata con alloggiamento tubazione.

Caratteristiche Geometriche	
Altezza Parete [m]	3
Spessore intercapedine [m]	0.08
Larghezza modulo parete [m]	0.20
Altezza Bocchetta Entrata [m]	0.10
Altezza Bocchette Uscita [m]	0.10
Quota tubazione [m]	0.65

Tabella 9 Condizioni al contorno modello parete tridimensionale.

Condizioni al Contorno	
Bocchetta Entrata	Velocità in entrata (pari a 0.35 m/s)
Bocchette Uscita	Massa in uscita
Parete esterna	Temperatura parete al sole ( T= 40 °C)
Parete Interna	Temperatura parete intenta ( T=26 °C)
Tubazione Dispersione	Immissione G.N. (0.5 l/h)

Si riportano di seguito i risultati delle simulazioni fluidodinamiche per il modello tridimensionale di parete, in particolare in Figura 32 si riporta l'andamento della concentrazione molare (espressa in  $\text{kmol/m}^3$ ) di G.N. al variare della quota rispetto al piano campagna lungo la superficie di mezzeria della parete. Come si può osservare, la concentrazione di G.N. tende progressivamente a diminuire all'aumentare della distanza dalla sorgente di G.N. Nel dettaglio, si può notare come già ad una quota pari a 1.5 metri dal piano campagna il G.N. subisce una riduzione del 44 % della concentrazione, rispetto al punto di immissione. Tale riduzione di concentrazione aumenta progressivamente allontanandosi dalla sorgente, fino ad una soglia del 46 % in corrispondenza della quota paria a 3 metri. E' inoltre interessante osservare come a valle del punto di immissione la concentrazione di G.N. risulta completamente azzerata.

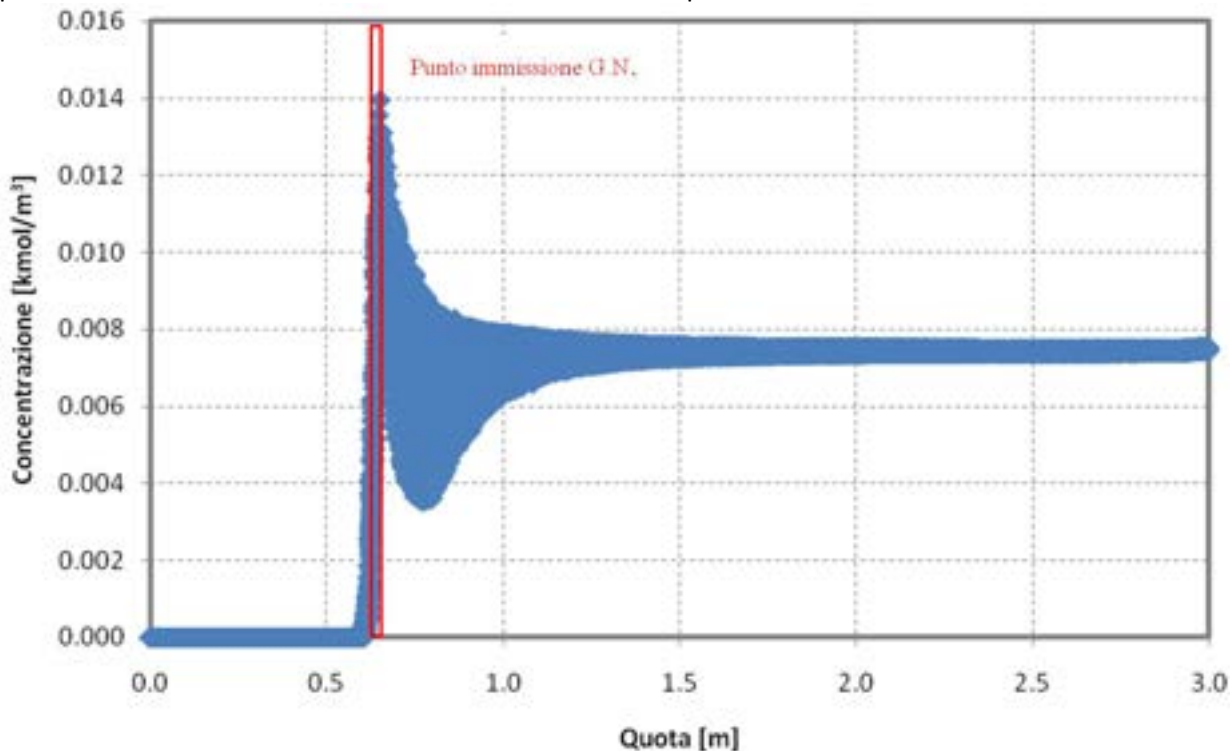


Figura 32 Andamento della dispersione di G.N., al variare della quota rispetto al piano campagna

I risultati dell'andamento della concentrazione di G.N. ottenute con il modello tridimensionale, sono in accordo con quelle ottenute con il modello bidimensionale. Lo scostamento esistente tra i risultati ottenuti con i due modelli è compreso entro il 4%. In particolare, la riduzione di concentrazione stimata mediante il modello tridimensionale, mostrano come l'effetto della dispersione nelle tre direzioni comporti un incremento della capacità di dispersione dell'intercapedine ventilata. Ad ogni modo i risultati ottenuti mediante il modello bidimensionale sono altrettanto validi e risultano essere cautelativi dal punto di vista della sicurezza nei confronti di atmosfere esplosive. In base all'andamento della concentrazione di G.N. e al campo di temperatura imposto sulle pareti esterne ed interne, è stato possibile stimare l'andamento della densità della miscela al variare della quota nelle tre dimensioni. Si riportano di seguito gli andamenti della densità, della temperatura e della velocità in corrispondenza della sezione di mezzeria della parete.

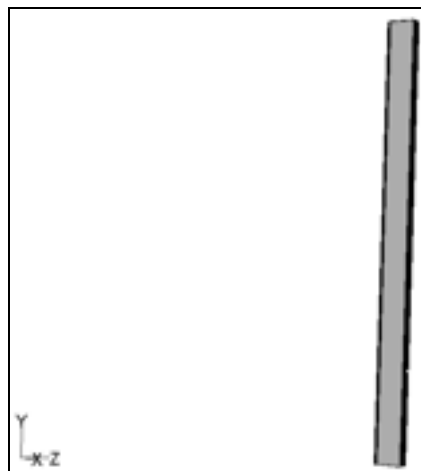


Figura 33 Sezione di mezzeria della parete

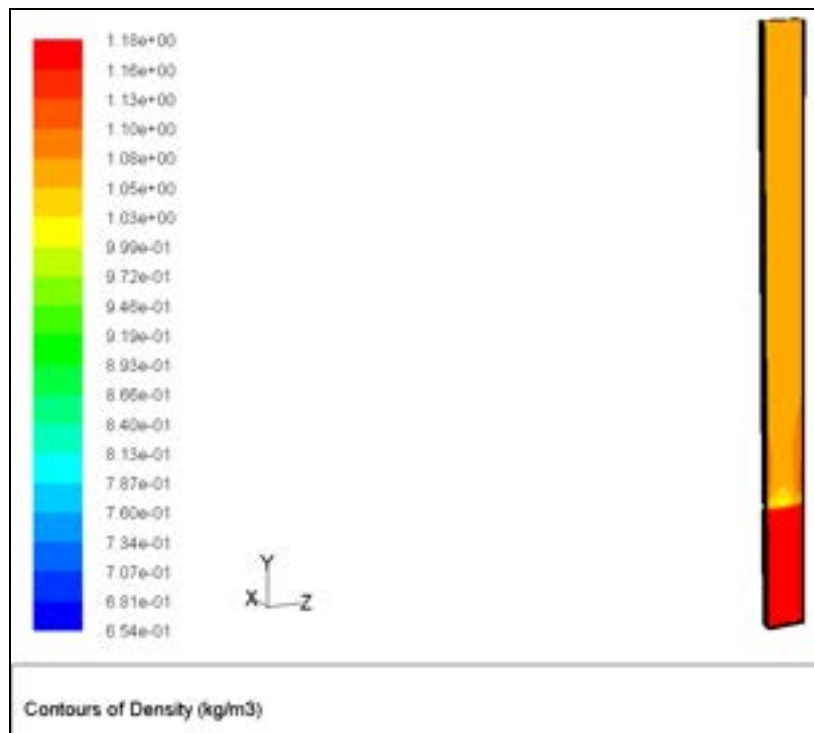


Figura 34 Andamento della densità della miscela aria-G.N.

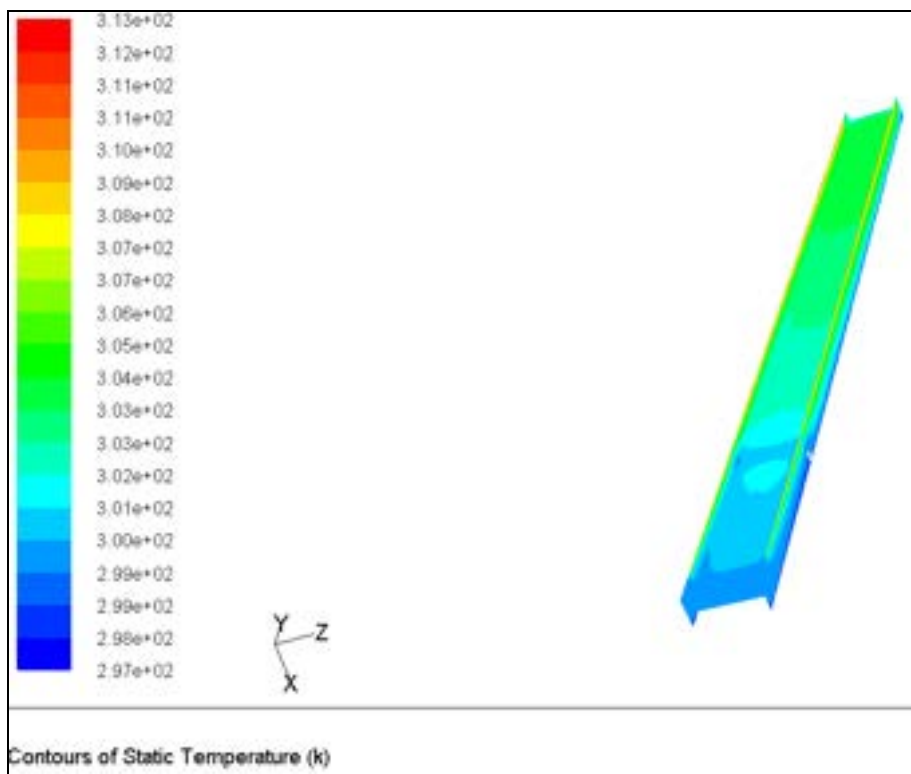


Figura 35 Campo di temperatura all'interno dell'intercapedine

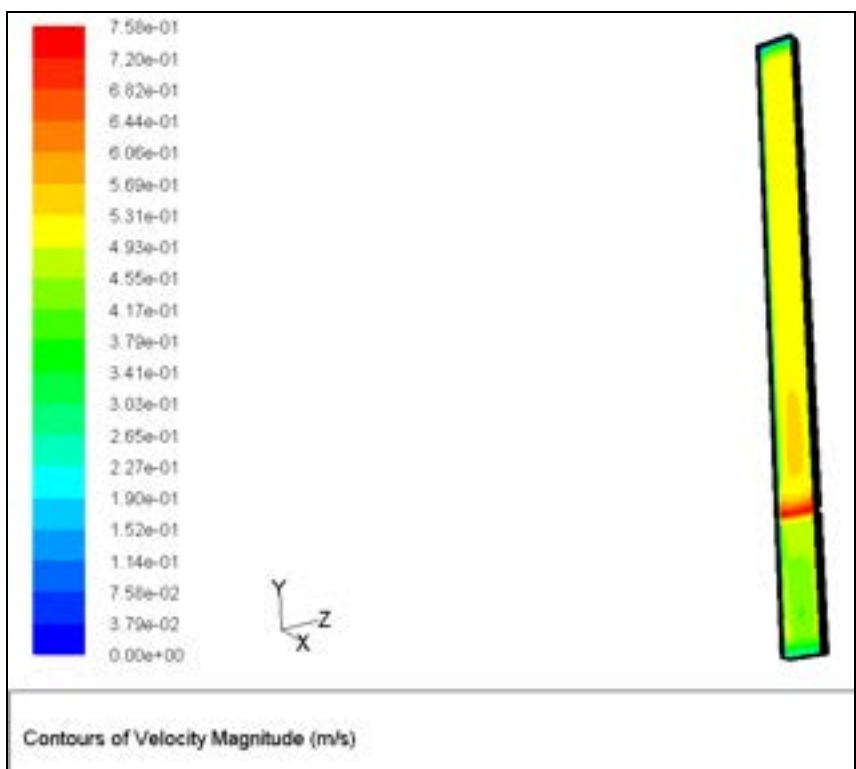


Figura 36 Campo di velocità

Allo scopo di valutare ulteriori configurazioni con un maggiore grado di sicurezza, si è scelto di studiare il comportamento di una parete ventilata con una maggiore spessore dell'intercapedine. In Tabella 10 sono riportate le caratteristiche geometriche della nuova parete. Mentre nella Tabella 11 si è riportata la sintesi delle condizioni al contorno imposte. In questo caso, in base ai risultati dell'analisi parametrica si è imposta

una velocità di imbocco pari a 0.4 m/s, mentre la dispersione di G.N. è rimasta invariata rispetto al caso precedente.

Tabella 10 Caratteristiche geometriche parete con intercapedine 10 cm

Caratteristiche Geometriche	
Altezza Parete [m]	3
Spessore intercapedine [m]	0.10
Altezza Bocchetta Entrata [m]	0.10
Altezza Bocchette Uscita [m]	0.10
Diametro Tubazione [inc]	½"
Quota tubazione [m]	0.60

Tabella 11 Condizioni al contorno parete con intercapedine di 10 cm

Condizioni al Contorno	
Bocchetta Entrata	Velocità in entrata (pari a 0.4 m/s)
Bocchette Uscita	Massa in uscita
Parete esterna	Temperatura parete al sole ( T= 40 °C)
Parete Interna	Temperatura parete intenta ( T =26 °C)
Tubazione Dispersione	Immissione G.N. (0.5 l/h)

Nella figura sottostante si riporta l'andamento della concentrazione molare di G.N. al variare della quota, in particolare i dati fanno riferimento sezione longitudinale passante per il punto di immissione di G.N. (tubazione). In questo modo è stato possibile valutare l'andamento della concentrazione lungo la sezione maggiormente interessata dalla dispersione di G.N..

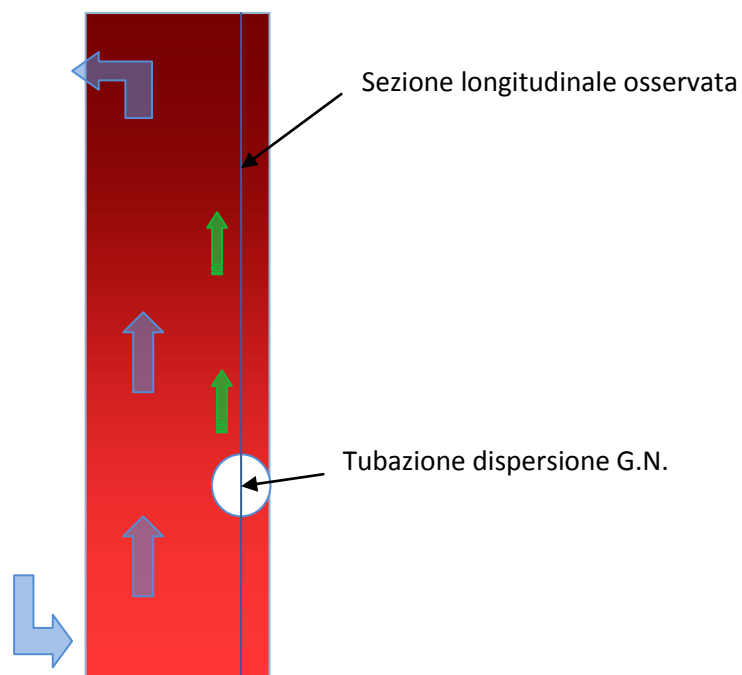


Figura 37 modello parete intercapedine 0.1 m

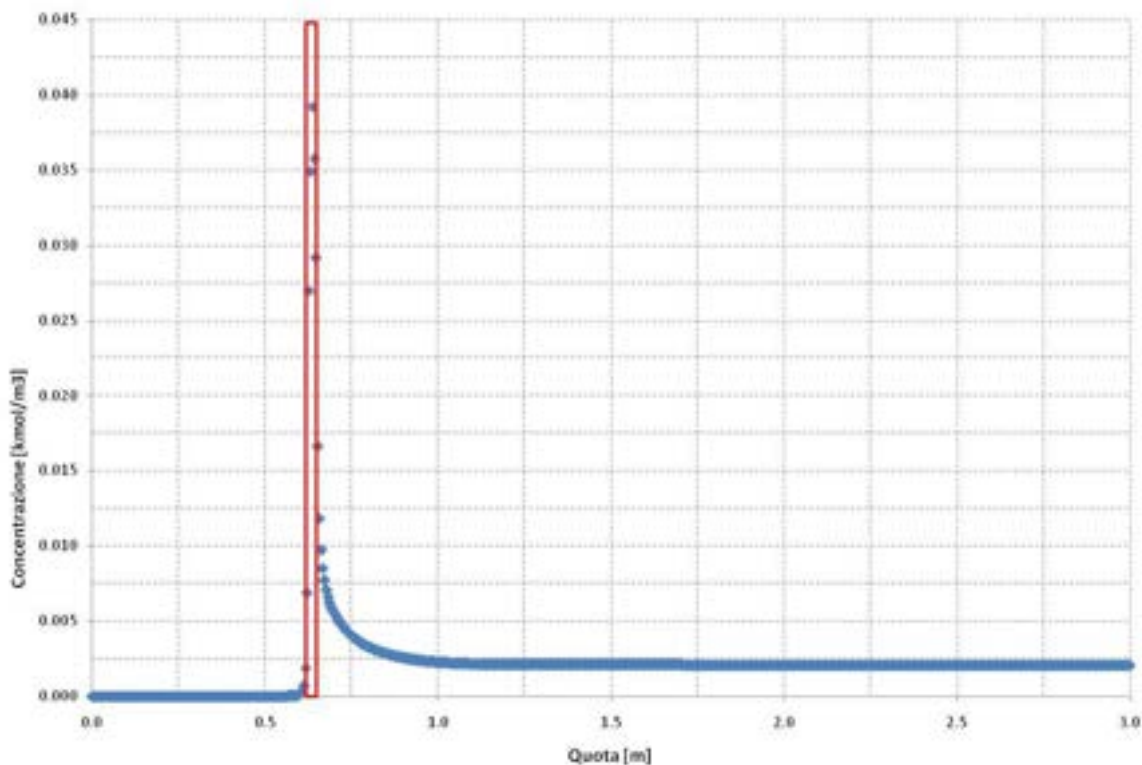


Figura 38 Andamento della concentrazione la variare della quota, intercapedine di 10 cm.

Il trend della concentrazione mostrato in Figura 38 evidenzia come in questo caso in condizioni indisturbate (quota 2.3 m dal piano campagna), si ha una concentrazione di G.N. pari a  $0.0025 \text{ kmol/m}^3$ , con una conseguente riduzione del 72 % rispetto al caso di parete con intercapedine pari a 0.08 m. L'aumento dello spessore dell'intercapedine ha comportato una sensibile riduzione della concentrazione grazie al maggiore volume occupabile da parte del G.N. e al diverso campo di velocità. Osservando ulteriormente la Figura 38, si nota come dal punto immediatamente dopo la tubazione, in cui è presente una concentrazione prossima a  $0.014 \text{ kmol/m}^3$ , alla quota 2.3 m si ha una riduzione pari al 82 % della concentrazione molare di G.N., mentre nel caso di parete con intercapedine pari a 8 cm la riduzione percentuale è del 42 % (secondo il modello bidimensionale).

### 2.3.7 Ipotesi progettuali sistema parete ventilata-rete di distribuzione gas

Il lavoro presentato, ha messo in evidenza le particolarità delle pareti ventilate focalizzando l'attenzione sugli aspetti costruttivi che maggiormente ne influenzano il comportamento termo fluidodinamico. Dalle indagini di letteratura e dall'analisi parametrica è emerso come i parametri che maggiormente incidono sul comportamento termo fluidodinamico dell'involucro ventilato sono essenzialmente l'altezza, la larghezza e lo spessore dell'intercapedine. In base ai dati ottenuti da tali analisi e dalle tipologie costruttive presenti in commercio, è possibile dedurre che l'altezza ottimale è compresa tra i 3 e i 6 metri mentre la larghezza della modulo è compresa tra i 0.5 e 2 metri. Riguardo allo spessore dell'intercapedine, i dati di letteratura hanno evidenziato spessori ottimali compresi tra 0.15 e 0.17 metri ad ogni modo le principali tipologie costruttive presenti in commercio mostrano (Capitolo 2.2) uno spessore compreso tra i 0.02 m e 0.15 m.

Le analisi termo fluidodinamiche hanno permesso di analizzare come i campi di velocità si modificano nel caso in cui vi siano ostacoli aggiuntivi all'interno dell'intercapedine. Nel caso in cui si preveda l'installazione di un' eventuale tubazione (come ad esempio una rete di distribuzione del gas naturale) con diametri dell'ordine del  $\frac{1}{2}$ " si è riscontrato come il campo di velocità sia influenzato solo nelle immediate vicinanze della tubazione, mentre in corrispondenza della sezione indisturbata, il campo di velocità torna ad essere pressoché identico al caso di parete standard. Nel dettaglio, per una parete con spessore dell'intercapedine pari a 0.08 m, si è riscontrata una riduzione della velocità media in corrispondenza della sezione

indisturbata non superiore all'8% rispetto al caso di parete standard. Tale riduzione percentuale può essere facilmente ridotta utilizzando configurazioni di parete con un maggiore spessore dell'intercapedine.

Relativamente alla dispersione di sostanze pericolose all'interno dell'intercapedine ventilata, le simulazioni CFD condotte hanno permesso di evidenziare l'andamento dispersione di G.N. al variare delle caratteristiche geometriche delle pareti ventilate. I risultati ottenuti permettono di avere indicazioni fondamentali ai fini della progettazione di un sistema parete ventilata-rete distribuzione gas dotato di un elevato livello di sicurezza.

Dalle simulazioni condotte è emerso che per pareti dotate di uno spessore dell'intercapedine prossimo agli 8 cm, la concentrazione di G.N. (nel caso di portata dispersa di 0.5 l/h) tende progressivamente a diminuire con la distanza dalla sorgente. In particolare si è riscontrato come ad una distanza di 0.9 m dalla sorgente la concentrazione risulta abbattuta del 40 %, mentre ad una distanza di 1.7 metri la concentrazione molare di G.N. scende del 42 % rispetto al punto di riferimento posto a 0.05 m dalla sorgente. La parete osservata, grazie ai moti convettivi naturali che si instaurano nell'intercapedine, garantisce un'elevata dispersione di eventuali concentrazioni pericolose di G.N., garantendo un alto grado di sicurezza intrinseca. Il raggiungimento di livelli di sicurezza maggiori è possibile incrementando lo spessore dell'intercapedine, in particolare i risultati delle simulazioni CFD hanno mostrato come un incremento di due 2 cm dell'intercapedine (spessore intercapedine 10 cm) comporti un abbattimento sensibile della concentrazione. In particolare tale configurazione di parete, garantisce a parità di portata di G.N. dispersa, una riduzione del 72% della concentrazione molare di G.N. rispetto al caso di parete con intercapedine di 8 cm, in corrispondenza del punto posto a maggior distanza dalla sorgente di G.N.. L'incremento dello spessore permette inoltre di abbattere la concentrazione di G.N. di circa 80 % in corrispondenza di una distanza di 0.9 m dalla sorgente. I risultati ottenuti dalle analisi parametriche e CFD danno indicazioni indispensabili per delineare dei criteri progettuali preliminari di pareti ventilate, ad ogni modo al fine di arrivare ad una progettazione di dettaglio, è indispensabile una validazione sperimentale dei modelli numerici analizzati.

Le pareti ventilate, come mostrato dalle analisi parametriche e ampiamente evidenziato nella letteratura tecnica di riferimento, mostrano un buon funzionamento nelle condizioni estive. Nel caso di condizioni invernali, le pareti ventilate sono caratterizzate sempre da una convezione naturale ad ogni modo le diverse condizioni di irraggiamento e di temperatura possono ridurre in parte l'entità della velocità di filtrazione. Inoltre considerando l'aspetto energetico, le pareti ventilata in inverno riducono l'efficienza energetica dell'involucro, in conseguenza di ciò nella stagione invernale il flusso di aria viene ridotto parzializzando le aperture di entrata e uscita. Al fine di garantire in ogni caso un elevato grado di sicurezza si prevede la realizzazione di un sistema di sicurezza attivo in grado di realizzare una ventilazione forzata nel momento in cui si rilevi una concentrazione di G.N. superiore a limiti stabiliti. In questo modo si garantisce anche in queste condizioni di lavoro una adeguata dispersione di G.N.. Per livelli di sicurezza maggiori, si prevede la realizzazione di un sistema sicurezza intergrato in cui, nel caso di rilevazione di concentrazioni pericolose di G.N., viene attivato il sistema di ventilazione forzato e automaticamente interrotta la fornitura di G.N. ed elettricità. Un simile sistema garantisce un alto livello di sicurezza, premettendo contemporaneamente il controllo di tutto il sistema parete ventilata- rete distribuzione gas.

### 3 Conclusioni

Il lavoro presentato ha permesso di analizzare la potenzialità tecnologica per un possibile utilizzo del vettore gas naturale in ambito civile, per usi tradizionali e innovativi come l'alimentazione di elettrodomestici a gas. Nel dettaglio dell'aspetto di misurazione intelligente del gas, lo stato attuale della tecnologia presente sul mercato risulta essere perfettamente matura e consolidata. Dal punto di vista della sicurezza i recenti sviluppi della tecnologia domotica rende fattibile un'interconnessione tra i sistemi di smart metering e dispositivi automatici per l'interruzione dell'alimentazione gas o dell'energia elettrica nel caso di rilevazione di dispersioni di gas. Confidando sull'attuale potenzialità dei dispositivi domotici, è inoltre possibile realizzare sistemi in grado di instaurare una ventilazione forzata all'interno di volumetrie sensibili, al fine di ridurre la probabilità di formazione di atmosfere esplosive. La distribuzione del G.N., è realizzabile mediante un sistema innovativo integrato all'interno delle strutture murarie dell'edificio. Nel caso di edifici in cui è possibile modificare le facciate esterne, la rete di distribuzione può essere integrata all'interno di pareti ventilate, in particolare nel lavoro esposto si è analizzata la fattibilità tecnica dell'installazione della rete gas nell'intercapedine ventilata. In questo ambito, i risultati del lavoro mostrano come un opportuno dimensionamento dello spessore dell'intercapedine garantisce una sensibile dispersione del G.N. nel caso di eventuali dispersioni puntuali o diffuse. Tali risultati derivano da analisi numeriche condotte su diversi modelli di pareti ventilate. I modelli bidimensionali di parete ventilata restituiscono risultati realistici e cautelativi nei riguardi della sicurezza, rispetto ai modelli tridimensionali. In base alle tendenze costruttive presenti in commercio e ai risultati dell'analisi parametrica, si è deciso di analizzare due tipologie di pareti, con spessore dell'intercapedine rispettivamente di 8 e 10 cm. I due modelli di parete permettono entrambi un elevato abbattimento della concentrazione di gas. Ad ogni modo, a parità di portata dispersa di G.N., una parete ventilata con spessore dell'intercapedine di 10 cm permette una riduzione di concentrazione di G.N. prossima al 70% rispetto ad un'equivalente parete con intercapedine di 8 cm. Entrambe le soluzioni possono trovare impiego concreto in diverse applicazioni, in particolare la parete con intercapedine di 10 cm è indicata per applicazioni in cui il rischio di dispersioni di G.N. risulta maggiore, o comunque nei casi in cui le portate di gas distribuite dalla rete sono maggiori, come ad esempio in edifici pubblici di elevate volumetrie. Una validazione di tali risultati mediante misure di carattere sperimentale risulta indispensabile al fine di arrivare ad un maggiore grado di comprensione del fenomeno e quindi ad una più corretta progettazione di dettaglio della parete ventilata e del sistema di distribuzione del gas.

## 4 Riferimenti bibliografici

- [1] 1° Smart Utility Open Meters – Verso l’attuazione in Italia dello Smart Metering nel gas, convegno organizzato da ANIE Confindustria, 10 dicembre 2013, Roma. - <http://www.qualenergia.it/articoli/20131210-smart-meter-gas-quel-ritardo-che-crea-uno-stallo-insostenibile>
- [2] <http://www.fiorentini.com/>
- [3] <http://www.cavagnagroup.com/>
- [4] A. Lucchini, "Conoscere più in dettaglio le pareti ventilate"
- [5] M. Ciampi, F. Leccese, G. Tuoni, "Ventilated facades energy performance", Solar Energy (Elsevier) 75 (2003): 491–502.
- [6] A. Lucchini, Pareti ventilate ad alte prestazioni, teoria e soluzioni, Rockwool ([www.rockwool.it](http://www.rockwool.it))
- [7] M. Ciampi, F. Leccese, G. Tuoni, "Influenza di alcuni parametri termici sulle prestazioni energetiche delle pareti ventilate"

## Curriculum scientifico del DIAEE

Il presente rapporto fornisce una panoramica delle attività e delle strutture del Dipartimento di Ingegneria Astronautica, Elettrica ed Energetica (DIAEE) della Sapienza Università di Roma negli anni 2010-2013.

Il DIAEE è stato istituito nel 2010 accorpando il Dipartimento di Fisica Tecnica, una parte del Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale e Astronautica e il Dipartimento di Ingegneria Elettrica con il nucleo di Ingegneria Nucleare e Conversioni di Energia già in esso confluito.

Il DIAEE è un centro di formazione e ricerca che include importanti gruppi di ricerca nella fisica tecnica, l’ingegneria astronautica, l’ingegneria elettrica e l’ingegneria nucleare.

Nell’a.a. 2012-2013 fanno parte del DIAEE 67 docenti (18 professori ordinari, 16 professori associati, 24 ricercatori, 1 assistente, 2 ricercatori a tempo determinato, 4 professori senior, 2 professori emeriti), 28 membri del personale tecnico, amministrativo e bibliotecario (3 tecnici laureati, 10 tecnici di laboratorio, 12 amministrativi, 3 bibliotecari), 53 dottorandi e 17 assegnisti.

Il DIAEE fa parte della Facoltà di Ingegneria Civile ed Industriale.

L’origine della sezione Fisica tecnica del DIAEE si può far risalire al 1873 anno in cui la Fisica tecnica compare tra le materie d’insegnamento della "Scuola di applicazione per gli Ingegneri di Roma" istituita nello stesso anno come trasformazione della Scuola di Ingegneria; quest’ultima era stata fondata con “motu proprio” da Pio VII nel 1817. Nel 1914 il Laboratorio di Fisica tecnica si trasforma in Istituto di Fisica tecnica, per poi nel 1983, a seguito della riforma universitaria, dividersi tra i neo-formati dipartimenti di Energetica e di Tecnica dell’edilizia e del controllo ambientale; tale suddivisione rimarrà operante sino al 1991, anno nel quale si costituisce il Dipartimento di Fisica tecnica, che è rimasto operativo sino al 2010, anno di confluenza nel DIAEE.

Principali attività di ricerca nell’ambito dell’efficiamento energetico degli edifici **Sistemi e tecnologie per l’integrazione di luce naturale e artificiale in ambienti confinati**

Partecipanti.

Docenti: Fabio BISEGNA, Franco GUGLIERMETTI

Altri partecipanti: Laura MONTI (Dottorandi e assegnisti SAPIENZA), Pubblicazioni.

[1] T. de Bruin-Hordijk, F. Bisegna (2009), "Lighting in Classrooms- European case studies" Experiencing Light 2009, Int. Conf. On the Effects of Light on Wellbeing, Eindhoven, The Netherlands, October 26-27, 2009

[2] F. Gugliermetti, F. Bisegna, L. Monti (2010), "A friendly tool for designing with daylighting systems", Proc. CIE 2010 "Lighting Quality and Energy Efficiency", vol. 1, p. 342-350, ISBN/ISSN: 978 3 901906 83 1, Vienna, Austria, 14-17 marzo 2010

[3] F. Gugliermetti, F. Bisegna (2007), "Saving energy in residential buildings: the use of fully reversible windows", Energy ISSN: 0360-5442, Vol. 32/7, pp 1235-1247.

#### **Smart City**

Partecipanti.

Docenti: Fabio BISEGNA, Franco GUGLIERMETTI

Altri partecipanti: Lucia CELLUCCI, A. RUVIO, Donatella ZACCAGNINI ROMITO, Monica BARBALACE, Jonida BUNDO (Dottorandi e assegnisti SAPIENZA), Valerio LOMBARDI (Calipso)

Pubblicazioni.

[1] Franco Gugliermetti, Valerio Lombardi (2012). CLEANMOON, tecnologia e sistemi integrati per il turismo, EIDOS (ISSN:1972-6988), 51- 53, 4;

[2] Franco Gugliermetti, Valerio Lombardi (2013). Rinascimento2.0, EIDOS (ISSN:1972-6988), in corso di stampa

#### **Studio teorico e sperimentale di impianti di condizionamento**

Partecipanti.

Docenti: Roberto DE LIETO VOLLARO (Università degli Studi Roma Tre), Annunziata D'ORAZIO, Lucia FONTANA (Università degli Studi Roma Tre) Pubblicazioni.

[1] R. De Lieto Vollaro, A. D'Orazio, L. Fontana. Impianti di condizionamento a doppio canale: nuovo metodo di dimensionamento della rete di distribuzione. Atti 66° Congresso Nazionale ATI, 5-9 settembre 2011, Cosenza, ISBN: 978-88-95267-11-1.

#### **Criteri di dimensionamento di sistemi solari passivi per l'edilizia residenziale**

Partecipanti.

Docenti: Massimo COPPI

Assegnisti e collaboratori: Ferdinando SALATA, Andrea VENDITTI

Dottorandi: Chiara ALIPPI, Francesco CERAVOLO, Laura PERUZZI, Giulio VANNUCCI.

#### **Caratterizzazione della trasmissione del calore attraverso strutture edilizie in regime non stazionario**

Partecipanti.

Docenti: Claudio CIANFRINI, Massimo CORCIONE, Emanuele HABIB

Assegnisti e collaboratori: Alessandro QUINTINO

Descrizione dell'attività.

Pubblicazioni.

[1] Currà, E., Habib, E. , La facciata sud del teatro di villa Torlonia: un'interfaccia attiva tra ambiente interno ed esterno dal rilievo al progetto di restauro ed ottimizzazione energetica, Terzo Congresso Internazionale Ar.Tec., Ancona, 2007

[2] Cianfrini, C., Corcione, M., Habib, E. , Thermal Features of Insulated Concrete Bricks, 7th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics – HEFAT, Antalya, Turchia, 2010.

#### **Camini solari per la ventilazione naturale nell'edilizia residenziale**

Partecipanti.

Docenti: Massimo COPPI

Assegnisti e collaboratori: Alessandro QUINTINO, Ferdinando SALATA, Andrea VENDITTI

Dottorandi: Chiara ALIPPI, Laura PERUZZI.

[1] M. Coppi, F. Salata, A. Quintino. Fluid dynamic feasibility of solar chimney in residential buildings. International Journal of Heat and Technology. ISSN 0392-8764.

[2] M. Coppi, F. Salata, A. Quintino. Studio di fattibilità di camini solari nell'edilizia residenziale. 10° Congresso Nazionale CIRIAF - Atti Perugia (9/10 Aprile 2010). Perugia, 9/10 aprile 2010, vol. 1.

