



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA
Corso di Laurea in Ingegneria Biomedica

**Studio della correlazione tra i valori assunti
dai parametri di qualità dell'aria e le attività
della vita quotidiana**

Relatore:
Prof. **Gambi Ennio**

Tesi di Laurea di:
Ceresoli Beatrice

Anno Accademico 2019/2020

INDICE

| | |
|--|----|
| INTRODUZIONE..... | 1 |
| CAPITOLO 1 INQUINANTI AMBIENTALI | 3 |
| 1.1 CLASSIFICAZIONE..... | 3 |
| 1.1.1 INQUINANTI DI TIPO CHIMICO..... | 3 |
| 1.1.2 INQUINANTI DI TIPO BIOLOGICO..... | 8 |
| 1.1.3 INQUINANTI DI TIPO FISICO..... | 9 |
| 1.2 EFFETTI SULLA SALUTE..... | 10 |
| 1.2.1 EFFETTI SUL SISTEMA RESPIRATORIO..... | 10 |
| 1.2.2 CANCRO ED EFFETTI SULLA RIPRODUZIONE..... | 11 |
| 1.2.3 EFFETTI SUL SISTEMA CARDIOVASCOLARE..... | 12 |
| 1.2.4 EFFETTI SULLA PELLE E SULLE MUCOSE..... | 12 |
| CAPITOLO 2 MATERIALI E METODI..... | 14 |
| 2.1 DESCRIZIONE SENSORI..... | 14 |
| 2.2 RACCOLTA DATI..... | 17 |
| CAPITOLO 3 ANALISI DEI RISULTATI..... | 19 |
| 3.1 ANALISI QUANTITATIVA..... | 19 |
| 3.1.1 SITUAZIONE A-D | 19 |
| 3.1.2 SITUAZIONE B-C e E-F..... | 20 |
| 3.1.3 SITUAZIONE B-E..... | 21 |
| 3.1.4 SITUAZIONE C-F..... | 21 |
| 3.1.5 SITUAZIONE H-I-L..... | 22 |
| 3.2 ANALISI QUALITATIVA..... | 23 |
| 3.3 DISCUSSIONE DEI RISULTATI..... | 24 |
| CONCLUSIONI..... | 26 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 27 |

INTRODUZIONE

L'OMS definisce la salute come «uno stato di completo benessere fisico, mentale e sociale e non semplice assenza di malattia». La qualità dell'aria all'interno degli ambienti confinati rappresenta un determinante essenziale della vita sana e del benessere delle persone, infatti l'esposizione agli inquinanti indoor causa effetti indesiderati che vanno dal disagio sensoriale a gravi conseguenze sullo stato di salute. Con il termine inquinamento indoor si intende una particolare forma di inquinamento che interessa l'aria dei luoghi confinati nei quali si svolgono attività umane, anche a carattere di svago o di riposo, ossia quei luoghi destinati alla permanenza, anche breve, ma ripetuta, di persone. La comprensione dei pericoli di queste sostanze è un primo passo per identificare le azioni necessarie per evitare e ridurre gli impatti negativi di questi inquinanti sulla salute.

Una graduale presa di coscienza delle dimensioni del problema, unita alla crescente richiesta di un generale miglioramento della qualità della vita in senso lato, ha fatto pertanto crescere di recente nella comunità scientifica la convinzione che l'inquinamento indoor, soprattutto all'interno di ambienti non industriali, meriti la stessa, se non maggiore, attenzione dell'inquinamento outdoor. Ciò anche in vista del fatto che sempre più gente trascorre gran parte del suo tempo in tali ambienti, soprattutto nei paesi economicamente più sviluppati. Le categorie più esposte a questo rischio sono i bambini, gli anziani e le persone che presentano già gravi patologie. L'OMS stima che circa il 2,7% del carico globale di malattia nel mondo sia causato dall'inquinamento indoor.

Al fine di migliorare la qualità di vita delle persone e prevenire l'insorgenza di malattie, è importante non solo stabilire il tipo di inquinante presente nell'ambiente ma anche identificare quali sono le sorgenti.

A tal proposito nel capitolo 1 di questo elaborato è stata fatta una classificazione degli inquinanti più comuni e sono state individuate le principali fonti che determinano un deterioramento dell'aria indoor.

In seguito vengono descritti i principali effetti sugli apparati umani in particolare su quello respiratorio, su quello cardiovascolare, su quello riproduttivo e sulle mucose, che sono quelli dove si sviluppano le patologie più gravi.

Per studiare il livello di inquinamento indoor sono stati utilizzati due sensori descritti nel capitolo 2: Aeroqual Series 500 e un dispositivo IoT, i cui dati in uscita sono i livelli di concentrazione dell'inquinante per il primo e la tensione elettrica proporzionale alla concentrazione dell'inquinante per il secondo.

I risultati ottenuti sono stati poi confrontati nel capitolo 3 con le linee guida stabilite dall'OMS per definire la salubrità dell'ambiente esaminato, prendendo in considerazione i valori soglia definiti a partire da numerosi studi.

CAPITOLO 1

INQUINANTI AMBIENTALI

1.1 CLASSIFICAZIONE

In natura esistono da sempre sorgenti naturali inquinanti, vedi eruzioni vulcaniche o attività geotermiche, che alterano la composizione e le caratteristiche chimico-fisiche dell'atmosfera.

Si parla di inquinamento atmosferico quando vengono alterate le normali concentrazioni di una sostanza nell'aria. Questi cambiamenti possono essere causati sia da fonti di origine naturale che da attività umane.

Le principali sorgenti artificiali di inquinamento che provocano emissioni degli inquinanti sono le industrie, le centrali termiche, gli impianti di riscaldamento e i mezzi di trasporto. Le sostanze che vengono immesse direttamente nell'ambiente dal processo che le ha prodotte costituiscono gli inquinanti primari, mentre quelle che subiscono nell'atmosfera dei processi di trasformazione dando luogo a nuove sostanze nocive sono dette inquinanti secondari.

È possibile effettuare un'altra classificazione sulla base di dove l'inquinamento viene rilevato: inquinamento outdoor se si considerano ambienti aperti, inquinamento indoor se si considerano ambienti chiusi come abitazioni, uffici, luoghi pubblici o mezzi di trasporto.

Gli agenti inquinanti tradizionalmente monitorati vengono detti macroinquinanti: biossido di zolfo (SO_2), monossido di carbonio (CO), monossido e biossido di azoto (NO, NO_2), ozono (O_3) e particolato atmosferico (PM). Tutte queste sostanze sono facilmente misurabili perché sono quelle presenti in concentrazioni maggiori, infatti con il loro monitoraggio è possibile avere una visione quasi completa della qualità dell'aria.

Gli inquinanti appena descritti non sono necessariamente quelli più pericolosi per l'uomo e l'ambiente, infatti nell'aria abbiamo altri inquinanti presenti in concentrazioni minori, per questo detti microinquinanti, che hanno un tasso di nocività maggiore. In particolare, tra i microinquinanti più diffusi si trovano la formaldeide, l'acido nitroso (HNO_2), il benzene (C_6H_6), il toluene e lo xilene.

Se si pone particolare attenzione alle sostanze contaminanti dell'aria indoor, si può effettuare un'ulteriore classificazione suddividendole in base alla classe di appartenenza in inquinanti di tipo chimico, fisico e biologico.

1.1.1 INQUINANTI DI TIPO CHIMICO

Sono presenti nell'aria sottoforma di miscele complesse e possono originare all'interno degli ambienti stessi o provenire dall'esterno mediante fessure delle strutture edilizie o in corrispondenza degli infissi. I contaminanti chimici che verranno analizzati sono i seguenti: ossidi di azoto (NO, NO₂), monossido di carbonio (CO), particolato atmosferico (PM), fumo di tabacco, biossido di zolfo (SO₂), composti organici volatili (VOC), formaldeide, benzene (C₆H₆) e fibre minerali artificiali.

- Ossidi di azoto

Quelli più rilevanti per l'inquinamento sono il biossido di azoto NO₂ e monossido di azoto NO.

Sono tra gli inquinanti più comuni dell'aria indoor perché la maggior parte delle persone fa un uso quasi esclusivo di gas, sia per il riscaldamento, sia per cucinare.

Le principali fonti sono infatti i sistemi di riscaldamento a legna, a gas o a cherosene, i fornelli, le stufe e il fumo di tabacco.

Se si considerano delle condizioni ambientali normali, il biossido di azoto è volatile, di colore bruno-rossastro e più pesante dell'aria, e ha un caratteristico odore pungente percepibile per una concentrazione maggiore di 188 µg /m³ (0,1 ppm).

- Monossido di carbonio

Il monossido di carbonio (CO) è un gas prodotto dalla combustione incompleta di materiale organico è incolore, non irritante, inodore e insapore, non è rilevabile dall'uomo né alla vista, né al gusto né all'olfatto.

Nel corpo umano il CO si lega con l'emoglobina formando la carbossiemoglobina COHb, che impedisce il normale trasporto dell'ossigeno ai tessuti.

Il monossido di carbonio viene prodotto all'interno da fonti di combustione usate per la cottura o per il riscaldamento e viene introdotto anche attraverso l'infiltrazione di aria esterna nell'ambiente interno. Nei paesi sviluppati le principali cause di produzione di CO sono la cattiva installazione o manutenzione degli apparecchi o la loro scarsa ventilazione, mentre nei paesi in via di sviluppo camini a legna intasati o senza dispositivi di sicurezza potrebbero emettere CO nell'ambiente interno. La combustione di combustibili solidi di bassa qualità e biocarburanti può diventare pericolosa per gli occupanti degli ambienti interni se i gas di combustione non vengono scaricati correttamente all'esterno. L'uso di combustibili di alta qualità come gas naturale, butano o propano produce solitamente molto meno monossido di carbonio, a condizione che venga fornita aria sufficiente per garantire una combustione completa.

Il monossido di carbonio è un gas relativamente non reattivo e non viene assorbito dai materiali da costruzione o dai filtri del sistema di ventilazione.

Per proteggere la salute umana dall'esposizione a CO, l'OMS ha indicato i seguenti valori di riferimento:

- 100 mg/m³ per 15 min
- 60 mg/m³ per 30 min
- 30 mg/m³ per un'ora
- 10 mg/m³ per 8 ore
- 7 mg/m³ per 24 ore

- Particolato atmosferico

Il particolato atmosferico è una complessa miscela di sostanze organiche e inorganiche presenti nell'aria in forma solida e liquida che rimangono in sospensione in atmosfera per tempi più o meno lunghi a seconda delle dimensioni.

Il particolato si origina generalmente sia da fonti antropiche che da fonti naturali.

Le particelle vengono classificate secondo il diametro aerodinamico, e l'unità di misura convenzionalmente usata è il micrometro. La classificazione convenzionale le suddivide in:

- PM₁₀ quelle con diametro fino a 10 µm
- PM_{2,5} quelle con diametro fino a 2,5 µm

La composizione del particolato è molto variabile e dipende dall'origine delle particelle che possono essere di tipo naturale o antropica.

Per origine naturale si intendono le particelle prodotte dallo spray marino, erosione di rocce o incendi boschivi, mentre per origine antropica si intendono quelle particelle prodotte dalla combustione che solitamente sono al disotto del micrometro, per questo le più pericolose o quelle prodotte dai processi industriali dove i camini industriali emettono particelle ad altezze elevate che poi vengono successivamente trasportate dai venti anche a grandi distanze.

Ci sono alcuni accorgimenti individuali che si possono tenere presenti al fine di ridurre l'esposizione al particolato aerodisperso come, ad esempio, mantenere gli ambienti ben ventilati, effettuare regolare controllo e pulizia da parte di personale esperto dei sistemi di riscaldamento o non fumare in ambienti chiusi.

- Fumo di tabacco ambientale

Il Fumo di tabacco ambientale, *Environmental Tobacco smoke* (ETS) è il fumo che si libera dalla sigaretta di un fumatore nell'ambiente e che viene inalato involontariamente dalle persone che si trovano vicino ad uno o più fumatori.

Il fumo di tabacco è una miscela estremamente complessa e variabile, anche nel tempo; in questa miscela sono presenti molti composti chimici diversi, in fase gassosa o nel particolato che si libera con la combustione. Molti di questi composti sono irritanti, tossici e cancerogeni. L'inquinamento negli ambienti indoor fa sì che l'esposizione si protragga nel tempo e questo comporta un aumento dei rischi per la salute.

- Biossido di zolfo

Il biossido di zolfo è un gas incolore dall'odore acre e pungente a temperatura ambiente. L'origine naturale deriva principalmente dalle eruzioni vulcaniche mentre quella antropica deriva dalla combustione domestica degli impianti non metanizzati e dall'uso di combustibili liquidi e solidi nelle centrali termoelettriche.

Dalla combustione di ogni materiale contenente zolfo si sviluppano l'anidride solforosa (SO_2) e l'anidride solforica (SO_3).

La concentrazione di anidride solforica è minore rispetto all'anidride solforosa poiché la SO_3 viene consumata dal vapore acqueo dando luogo a acido solforico.

I livelli naturali di SO_2 sono generalmente inferiori a $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ma già alla concentrazione di circa $0,8 \text{ mg}/\text{m}^3$ l'anidride solforosa comincia a non essere più tollerabile dall'uomo.

- Composti organici volatili

Appartengono a questa classe numerosi composti chimici quali idrocarburi alifatici, aromatici e clorurati, aldeidi, terpeni, alcoli, esteri e chetoni.

Viene definito COV qualsiasi composto organico che abbia a 293,15 K (20°C) una pressione di vapore di 0,01 KPa superiore.

Varie sono le sorgenti di inquinamento di Composti Organici Volatili (COV) nell'aria degli ambienti indoor: le persone attraverso la respirazione e la superficie corporea, i prodotti cosmetici o i deodoranti, i dispositivi di riscaldamento, i materiali di pulizia e prodotti vari (es. colle, adesivi, solventi, vernici), abiti trattati recentemente in lavanderie, il fumo di sigaretta e strumenti di lavoro, quali stampanti e fotocopiatrici.

Altre fonti di inquinamento sono i materiali da costruzione e gli arredi che possono determinare emissioni continue durature nel tempo. Subito dopo la posa di vari materiali o dopo l'installazione degli arredi si hanno elevate concentrazioni di COV questo perché l'emissione è più alta all'inizio della vita di un prodotto e tende a diminuire con il passare del tempo.

I livelli dei COV presenti negli ambienti interni si possono controllare effettuando un'accurata scelta dei materiali da costruzione e da arredo e dei prodotti utilizzati per la pulizia, ovvero utilizzare vernici

a base di acqua, ventilare adeguatamente gli ambienti durante e subito dopo la posa di materiali da costruzione e ridurre al minimo l'uso di colle.

Tra i più nocivi troviamo la formaldeide, trattata di seguito, che può presentare rilasci relativamente costanti per molti anni.

- Formaldeide

La formaldeide è un composto organico in fase vapore che oltre a essere un prodotto della combustione, è anche emesso da resine urea-formaldeide usate per l'isolamento e da resine usate per truciolato e compensato di legno, per tappezzerie, moquette e per altro materiale da arredamento.

L'OMS ha stabilito una concentrazione limite negli ambienti indoor pari a 0.1 mg/m^3 , solitamente nelle abitazioni i livelli di concentrazione sono compresi tra $0,01$ e $0,05 \text{ mg/m}^3$.

I fattori che influenzano l'emissione di formaldeide sono:

- la qualità di resina impiegata che va a influire sul tasso di rilascio e sul meccanismo di degrado della resina stessa che può essere favorito dalla presenza di impurità;
- l'umidità relativa dell'ambiente poiché secondo alcuni ricercatori Olandesi in ambienti con un tasso di umidità relativa più alto, l'emissione di formaldeide è maggiore rispetto a dove il tasso è minore;
- la temperatura ambiente che presenta una relazione iperbolica con l'emissione della formaldeide;
- età del prodotto poiché si ha un'elevata emissione all'inizio della sua vita per poi diminuire e stabilizzarsi intorno ad un valore costante.

- Benzene

Il benzene è il composto aromatico più semplice ed ha un tempo di permanenza in atmosfera dell'ordine di un giorno.

Le principali fonti di emissione del benzene in ambienti chiusi sono il fumo di tabacco, le combustioni domestiche incomplete e i prodotti utilizzati nelle case come colle, vernici, cere per mobili o detersivi.

Nelle abitazioni senza fumatori sono generalmente rilevati livelli inferiori a $0,01 \text{ mg/m}^3$, mentre in quelle con fumatori sono presenti livelli generalmente superiori ($0,01$ - $0,02 \text{ mg/m}^3$).

Per ridurre l'emissione è bene non fumare negli ambienti chiusi e ridurre al minimo l'uso di sostanze come adesivi o solventi.

Il valore limite di esposizione per il benzene è di 3.25 mg/m³, ovvero 1 ppm calcolato in un periodo di riferimento di 8 ore.

- Fibre minerali artificiali

Queste fibre sono prodotte fondendo la materia prima e dandole la forma desiderata raffreddandola rapidamente. La materia prima più comunemente utilizzata è composta da silicati e quantità variabili di ossidi inorganici.

Le fibre minerali artificiali sono generalmente classificate in tre tipi:

- fibre di vetro a filamento continuo che sono più o meno rettilinee, con diametri uniformi e tipicamente più spesse delle fibre di lana minerale. Man mano che si frammentano, le fibre si suddividono in fibre più corte, ma a causa del loro spessore (tra 3,5 e 25,0 µm), non sono considerate inalabili;
- lana minerale che sono masse di fibre intrecciate e disorganizzate con lunghezze e diametri variabili, alcuni dei quali possono essere inalabili;
- fibre ceramiche refrattarie (RCF) che sono una miscela di alluminio, silice e altri ossidi refrattari. Le loro fibre hanno un diametro di 1.2-3.5µm e la loro lunghezza è variabile.

1.1.2 INQUINANTI DI TIPO BIOLOGICO

- Batteri

I batteri sono agenti patogeni infettivi in sospensione nell'aria che spesso sono veicolati da particelle di aerosol e polveri. La più comune fonte di microrganismi in un ambiente indoor è il corpo umano: le concentrazioni microbiche possono essere molto elevate in funzione delle diverse zone del corpo, anche gli abiti possono essere serbatoio e fonte di diffusione di organismi.

In particolare, sono soprattutto gli atti del parlare, starnutire e tossire le maggiori fonti di diffusione microbica nell'aria all'interno dei locali. Anche la polvere domestica può essere terreno di coltura per i diversi microrganismi quando si verificano condizioni idonee di temperatura e umidità, infatti l'elevata umidità può facilitare l'insediamento e la moltiplicazione dei microrganismi.

Tra questi tipi d'inquinanti è da ricordare il batterio Legionella (*Legionella pneumophila*) che vive in ambienti acquatici naturali, acque sorgive, comprese quelle termali, fiumi, laghi, fanghi e i microrganismi appartenenti ai generi *Staphylococcus*, *Candida*, *Clostridium* che possono costituire un rischio per la salute.

Per ridurre al minimo l'esposizione ai batteri è bene mantenere accuratamente pulite tutte le superfici, in particolare quelle che vengono a contatto con i cibi, ridurre il più possibile i livelli di polvere nelle abitazioni, aumentare la ventilazione negli ambienti e mantenere sempre un livello di umidità relativa nell'abitazione inferiore al 60%.

- Muffe

Le muffe sono funghi microscopici che durante la loro crescita producono particelle di forma sferica di piccole dimensioni (spore) che si disperdono nell'aria principalmente in estate e in autunno. All'interno si trovano soprattutto dove è presente umidità in eccesso e scarsa ventilazione e tendono a svilupparsi più rapidamente con un clima caldo umido, come in estate e in luoghi poco illuminati, su oggetti e materiali umidi, in umidificatori o sistemi di condizionamento d'aria, non sottoposti a regolare pulizia e manutenzione.

- Acari

Gli acari sono dei piccolissimi artropodi dove il più noto e studiato in allergologia è il genere dei Dermatofagoidi. Gli acari vivono nella polvere, dove si nutrono principalmente di detriti cutanei umani e di muffe. I fattori principali che stimolano la loro crescita sono di natura fisica e biologica, ovvero l'umidità, la temperatura e la disponibilità di cibo: le condizioni ottimali sono un'umidità relativa fra il 60% e l'80% e una temperatura fra i 18-24 °C.

1.1.3 INQUINANTI DI TIPO FISICO

- Radon

Il radon è un gas nobile che non ha odore, né colore per cui la sua presenza non può essere avvertita dai sensi. Il radon si trova in natura a seguito del decadimento radioattivo dell'Uranio e del Torio, presenti diffusamente nella crosta terrestre.

È quindi un gas proveniente dal suolo che interessa principalmente i locali interrati, seminterrati e quelli al pianoterra. La sua concentrazione però non dipende solo dalle sue sorgenti principali, ovvero suolo e materiali da costruzione, ma anche da quanto quel locale è ben ventilato poiché una buona ventilazione degli edifici ne abbassa notevolmente la concentrazione.

Il radon dà origine ad una serie di prodotti di decadimento, anch'essi radioattivi, che si attaccano a particelle di aerosol e che rappresentano principali responsabili dei problemi di salute.

1.2 EFFETTI SULLA SALUTE

L'impatto dell'inquinamento sull'uomo può consistere in effetti sulla salute indesiderati di diverso tipo.

Gli effetti sanitari correlati all'alterazione della qualità dell'aria indoor (IAQ) costituiscono un fenomeno complesso, perché legati a diversi fattori ambientali e individuali, tra cui tipologia e concentrazione dell'inquinante, presenza di più inquinanti contemporaneamente, tempo di esposizione, parametri microclimatici e suscettibilità delle persone esposte.

Gli effetti possono essere acuti, a breve termine, o cronici, a lungo termine.

- Effetti a breve termine possono presentarsi dopo una singola esposizione o dopo esposizioni ripetute a un singolo inquinante (o miscele di inquinanti), anche a basse concentrazioni;
- Effetti a lungo termine (effetti cronici) si manifestano dopo un'esposizione prolungata a livelli di concentrazione anche lievi o dopo esposizioni ripetute. Possono manifestarsi anche dopo anni dall'esposizione e possono contribuire all'aggravamento di patologie preesistenti.

I gruppi più a rischio per esposizioni a inquinamento indoor sono: bambini, anziani e persone con patologie croniche. In particolare i bambini sono più a rischio degli adulti poiché il loro organismo è ancora in via di sviluppo infatti il loro apparato respiratorio è particolarmente sensibile.

1.2.1 EFFETTI SUL SISTEMA RESPIRATORIO

Il tratto respiratorio è tradizionalmente suddiviso in una parte superiore ed in una inferiore. Quella superiore è composta dalla regione nasale, dalla faringe e dalla trachea e serve a riscaldare, inumidire e ripulire l'aria che viene condotta nei polmoni.

I bronchi, i bronchioli e gli alveoli costituiscono il tratto inferiore (polmoni) dove avviene lo scambio dei gas con il sangue.

Il sistema respiratorio ha la funzione di rifornire il corpo dell'ossigeno necessario e eliminare anidride carbonica prodotta dai tessuti.

Queste funzioni però non permettono di riconoscere le varie sostanze aerodisperse, quindi i vari inquinanti presenti nell'aria possono penetrare all'interno del corpo con relativa facilità.

I sintomi respiratori che sono stati associati all'esposizione agli inquinanti dell'aria interna sono sintomi principalmente legati alle vie aeree inferiori come tosse, respiro sibilante, mancanza di respiro e catarro.

I cambiamenti osservati nella funzione polmonare dovuti all'esposizione, ad esempio, al fumo di tabacco in casa, sono principalmente dovuti al restringimento acuto o cronico delle vie aeree che porta

all'ostruzione del flusso d'aria. Questo è misurato come una riduzione della quantità di aria che può essere espirata in un secondo dopo l'inspirazione profonda e una limitazione nelle varie misure del flusso d'aria.

Il fumo di tabacco può provocare quindi un eccessivo restringimento delle vie aeree che portano ad una mancanza di respiro o ad un respiro sibilante.

Questa condizione è spesso aggravata dalla presenza nell'ambiente di allergeni.

Sono proprio quest'ultimi a determinare le due malattie allergiche più gravi che comportano una riduzione della funzione polmonare, ovvero l'asma allergica e l'alveolite allergica estrinseca.

La prima presenta un pattern ostruttivo nei casi gravi insieme ad una ridotta capacità di ventilazione, la seconda invece, chiamata anche polmonite da ipersensibilità, è caratterizzata da attacchi ricorrenti di polmonite o sintomi simil-influenzali con lieve difficoltà respiratoria. Si verificano principalmente nelle persone esposte ad ambienti chiusi e umidi dove proliferano batteri e funghi.

Tra i gruppi più suscettibili a questo tipo di patologie troviamo i bambini, gli anziani e le persone già affette da altre patologie. I bambini presentano un sistema respiratorio più suscettibile agli inquinanti ambientali rispetto a quello degli adulti poiché il loro apparato è ancora in fase di sviluppo e perché hanno tassi respiratori e metabolici più veloci.

1.2.2 CANCRO ED EFFETTI SULLA RIPRODUZIONE

Un aumento del rischio di sviluppare il cancro ai polmoni è stato collegato all'esposizione al fumo di tabacco ambientale (ETS) e ai prodotti di decadimento del radon. Il cancro al polmone è una malattia molto grave con un alto tasso di mortalità; tuttavia, il numero di persone colpite è molto inferiore al numero di persone che contraggono malattie respiratorie o allergie o che hanno effetti irritanti a causa dell'esposizione all'inquinamento indoor.

Il fumo di tabacco è noto da molto tempo per provocare il cancro nell'uomo e sebbene il fumo laterale abbia una composizione diversa dal fumo che viene inalato da un fumatore, agenti cancerogeni sono stati identificati anche nel fumo laterale.

Più fumo si è respirato nella vita, maggiore è la probabilità di ammalarsi.

Il fumo di sigaretta è responsabile di 8-9 tumori del polmone su 10, ma anche cancerogeni chimici come il radon sono fattori di rischio per questa malattia.

Radon e prodotti di decadimento del radon possono essere presenti in alte concentrazioni nelle case costruite su suoli ricchi di uranio. Una particolare attenzione va rivolta ai prodotti di decadimento di breve durata che si attaccano al particolato atmosferico che va poi a depositarsi nei polmoni. La probabilità che questo processo si verifichi è maggiore quando nell'ambiente chiuso è presente fumo di tabacco che aumenta il carico di particelle a cui questi prodotti possono attaccarsi.

Gli inquinanti tossici dell'aria possono causare anche molte disfunzioni riproduttive.

Studi professionali hanno infatti dimostrato che l'esposizione al piombo, all'ossido di etilene e ad alcuni pesticidi può portare a effetti sulla riproduzione umana come aborti spontanei o infertilità sia maschile che femminile; questo perché si ha un'alterazione della normale attività ormonale.

La pericolosità di queste sostanze sull'apparato riproduttivo è tanto maggiore quanto minori sono i disturbi o i malesseri immediati che si manifestano a carico delle persone che ne subiscono l'esposizione. In effetti, una persona si rende conto della gravità della situazione solamente una volta effettuato un controllo della propria fertilità oppure sulla base dei danni che si manifestano nella prole.

1.2.3 EFFETTI SUL SISTEMA CARDIOVASCOLARE

I principali inquinanti indoor associati a disturbi del sistema cardiovascolare sono il monossido di carbonio (CO) e il fumo da tabacco. L'esposizione a questi agenti inquinanti comporta effetti negativi sulla salute sia acuti che cronici.

Il fumo favorisce le malattie cardiovascolari con diversi meccanismi: riduce la quantità di ossigeno che arriva al cuore, aumenta la pressione sanguigna e il battito cardiaco, danneggia la parete interna dei vasi sanguigni, favorisce la vasocostrizione o gli spasmi delle arterie, accresce la probabilità di sviluppare placche ostruttive e trombi nei vasi sanguigni. Tutto ciò aumenta le probabilità di incorrere in un ictus o in un infarto.

Il monossido di carbonio (CO) esercita la sua influenza principalmente attraverso il legame con l'emoglobina (Hb) nel sangue. L'affinità di CO a Hb è circa 200 volte superiore all'affinità di ossigeno a Hb, quindi a livelli relativamente bassi di CO nell'aria l'ossigeno è sostituito da CO. Questo va a discapito dei tessuti che hanno un elevato fabbisogno di ossigeno poiché subiscono una ridotta ossigenazione causata dall'esposizione al monossido di carbonio.

Per concentrazioni ambientali di CO minori di 5 mg/m^3 non si hanno effetti rilevanti sulla salute degli individui sani, mentre per persone che presentano malattie cardiache anche le basse concentrazioni possono provocare sintomi infartuali. A concentrazioni maggiori si verificano cefalea, confusione, disorientamento, capogiri, visione alterata e nausea.

Il livello di intossicazione da CO dipende quindi dalla sua concentrazione nell'aria inspirata, dalla durata dell'esposizione e dalle condizioni di salute delle persone coinvolte.

1.2.4 EFFETTI SULLA PELLE E SULLE MUCOSE

Gli inquinanti indoor possono provocare effetti irritativi che portano ad alterazioni cutanee o delle mucose.

Le manifestazioni di tali irritazioni sono associate a modifiche biochimiche e patologiche tissutali e devono essere distinte dagli effetti sensoriali che sono invece vere e proprie sensazioni soggettive conseguenti a stimoli ambientali.

Le mucose più colpite dall'inquinamento indoor sono quelle degli occhi, del naso e della gola.

L'inquinante più attivo in termini di irritazioni cutanee è la formaldeide che essendo altamente solubile in acqua provoca alterazioni sulle mucose degli occhi e del tratto respiratorio superiore. I sintomi più frequenti sono gola secca o irritata e una sensazione di formicolio al naso che di solito compare insieme alla lacrimazione degli occhi. Gli effetti si verificano a partire da una concentrazione pari a 0,1 ppm, ma solitamente gli effetti più visibili si hanno per concentrazioni maggiori di 1 ppm. Ad alte concentrazioni la formaldeide può agire come un allergene e stimolare la produzione degli anticorpi.

In realtà anche il fumo di tabacco ambientale può provocare effetti irritativi principalmente agli occhi e alla rinofaringe. L'irritazione oculare e congiuntivale, il mal di gola, gli starnuti e la tosse sono i principali sintomi che si possono avere.

Queste sono le sostanze che provocano cambiamenti irritativi più considerevoli, anche se la maggior parte degli studi sperimentali sugli effetti delle sostanze irritanti non comportano periodi di esposizione superiori a poche ore e pertanto potrebbero non mostrare una relazione tra esposizioni a lungo termine ed effetti sulla salute.

CAPITOLO 2

MATERIALI E METODI

2.1 DESCRIZIONE DEI SENSORI

Aeroqual Series 500 è lo strumento utilizzato per il rilevamento della situazione indoor che con la sua precisione ha permesso la misura di diversi gas a diverse concentrazioni.

Lo strumento è composto da un monitor palmare ultraportatile, il cui scopo principale è quello di effettuare valutazioni ambientali e indagini sulla qualità dell'aria in movimento attraverso un monitoraggio fisso a breve termine, se usati negli studi di inquinanti con effetti acuti come il monossido di carbonio (CO) o per un periodo più prolungato se rivolti allo studio degli effetti cronici legati all'esposizione a lungo termine ai composti organici volatili (VOC). I dati possono essere memorizzati a bordo poiché è dotato di un data-logging incorporato che consente un massimo di 8.188 registrazioni, ma possono essere anche scaricati sul PC mediante un collegamento USB. Una volta effettuato il collegamento è possibile visualizzare in tempo reale i dati che il sensore sta acquisendo tramite grafico o tabella oppure scaricare i dati già acquisiti e visualizzarli in un foglio Excel.

Per quanto riguarda l'alimentazione, lo strumento dispone di una batteria al litio sostituibile a lunga durata (fino a 8 ore) e ricaricabile.

I sensori utili per il rilevamento alloggiato all'interno di una testa intercambiabile che si fissa alla base del monitor e che può essere rimossa e sostituita in pochi secondi, dando la possibilità all'utente di misurare gas diversi a seconda delle esigenze. Ciascuna testa del sensore contiene una ventola che funziona in modo continuo o periodico (a seconda del tipo di sensore) per attirare l'aria campione al sensore. Una volta campionata l'aria viene scaricata dal lato opposto della testa del sensore.

I sensori utilizzati sono di due tipi:

- sensori a semiconduttore sensibili al gas (GSS) che si basano sulla proprietà che alcuni ossidi di metallo mostrano una variazione di resistenza elettrica in presenza di un determinato gas. Questo cambiamento di resistenza è causato da una reazione superficiale tra ossido e gas per questo i parametri del materiale come l'area della superficie e la porosità contribuiscono alla sensibilità complessiva del sensore.

In particolare, quello utilizzato è stato quello sensibile ai composti organici volatili (VOC) che presenta le seguenti caratteristiche (Tabella 1):

| Sensor Code | VM / VM2 |
|---------------------------------|-----------------|
| Range | 0-25ppm |
| Sensor Type | GSS |
| Minimum Detection Limit | 0.1ppm |
| Accuracy of Factory Calibration | <±0.1 ppm + 10% |
| Resolution | 0.1ppm |
| Response Time | 60 Seconds |
| Temp | 0 to 40°C |
| Relative Humidity | 10 to 90% |

Tabella 1: Caratteristiche sensore per VOC

- sensori elettrochimici (GSE) che sono caratterizzati da una diretta proporzionalità tra la concentrazione del gas che si vuole misurare e la corrente in uscita.

Ricade in questa categoria il sensore utilizzato per misurare la concentrazione di monossido di carbonio (CO) le cui caratteristiche sono riportate in seguito (Tabella 2):

| Sensor Code | ECM / ECM2 |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| Range | 0-25ppm |
| Sensor Type | GSE |
| Minimum Detection Limit | 0.05ppm |
| Accuracy of Factory Calibration | <±0.5 ppm 0-5ppm <±10% 5-25ppm |
| Resolution | 0.01ppm |
| Response Time | 60 Seconds |
| Temp | 0 to 40°C |
| Relative Humidity | 15 to 90% |

Tabella 2: Caratteristiche sensore per CO

Per avere un risultato più accurato della valutazione della qualità dell'aria entra in gioco anche un altro strumento che può essere definito come un dispositivo IoT ovvero come un oggetto intelligente in grado di ricevere e trasferire dati su reti wireless, senza richiedere interventi manuali. Le componenti principali di questo strumento sono:

- Sensori di gas
- Modulo controller

Il controller campiona ed elabora i dati che tramite tecnologia Wi-Fi e protocollo MQTT vengono trasmessi alla piattaforma cloud ThingSpeak dove possono essere visualizzati in tempo reale e

memorizzati. Il microcontrollore esegue anche tutti i controlli necessari affinché il sistema funzioni correttamente.

Le tensioni necessarie per alimentare il microcontrollore e i sensori sono rispettivamente 3.3V e 5V che si hanno grazie ad un alimentatore a 12V e due opportuni regolatori di tensione.

Particolare attenzione va rivolta ai sei sensori di tipo elettrochimico che si dividono in due categorie:

- Sensori della serie MQ che generano correnti proporzionali alla concentrazione di gas che rilevano e che sono caratterizzati da un'elevata sensibilità, tempo di risposta molto rapido e basso costo. Possono inoltre rilevare tipi differenti di gas come specificato in Tabella 3:

| Sensore | Gas rilevato |
|---------|---|
| MQ2 | idrogeno molecolare, GPL, metano, monossido di carbonio, alcool, propano |
| MQ9 | metano, GPL, monossido di carbonio |
| MQ135 | ammonio, anidride carbonica, monossido di carbonio, etanolo, toluene, acetone |
| MQ137 | ammoniaca, monossido di carbonio, etanolo/etere dimetilico |
| MQ138 | n-esano, benzene, metano, monossido di carbonio, alcool, propano |

Tabella 3: Sensori MQ e rispettivi gas rilevati

Nelle normali applicazioni il sensore viene posto in un circuito a partitore di tensione (figura 1) in maniera tale da poter misurare la tensione in uscita e fare quindi le opportune conversioni.

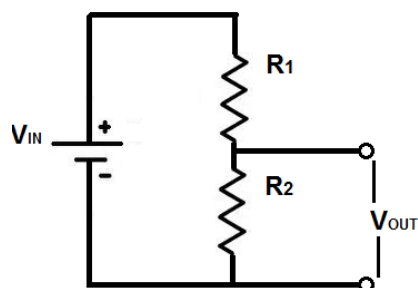


Figura 1: circuito di misura per un sensore MQ

R_1 è la resistenza offerta del sensore (variabile in funzione della concentrazione di gas), R_2 è la resistenza di carico, V_{out} è la tensione letta in uscita e V_{in} è la tensione di alimentazione.

La relazione che lega la variazione di resistenza R_1 e la tensione in uscita V_{out} è la seguente:

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

In termini pratici si può dire che con il diminuire della resistenza del sensore R_1 , aumenta la concentrazione del gas e la tensione V_{out} letta in uscita.

- Sensore DFROBOT Gravity: Analog CO2 Gas Sensor for Arduino che presenta al suo interno un sensore di gas elettrochimico MG-811 con un'alta sensibilità all'anidride carbonica e in quantità minori al monossido di carbonio ed alcool e che risulta essere poco dipendente dalla temperatura e umidità.

Per sensori di questo tipo il legame tra tensione d'uscita e concentrazione di gas risulta essere inversamente proporzionale, ovvero, aumentando la quantità di anidride carbonica nell'aria la conduttività diminuisce.

2.2 RACCOLTA DATI

La raccolta dati effettuata mediante i dispositivi sopra descritti ha come scopo quello di sottolineare come i livelli di inquinamento possono variare a seconda di quali ambienti interni si considerano ovvero a seconda della presenza di fonti inquinanti e delle abitudini di ventilazione.

Le fonti inquinanti prese in considerazione sono il processo di combustione per la cottura di cibi che contribuisce all'aumento della concentrazione di monossido di carbonio (CO) e i materiali utilizzati per la costruzione e l'arredamento che a causa dell'umidità possono emettere grandi quantità di composti organici volatili (VOC).

L'acquisizione si è svolta in un appartamento in particolare su due stanze: cucina e camera da letto per una durata totale di circa due settimane. Il sensore Aeroqual leggeva a intervalli di un minuto i valori rilevati dalla testa connessa in quel momento e li memorizzava direttamente sul monitor portatile, mentre il microcontrollore dell'altro sensore leggeva, elaborava e inviava i dati rilevati alla piattaforma IoT con intervalli dalla durata di tre minuti. In questo arco di tempo i sensori hanno raccolto dati riguardanti le seguenti situazioni:

- **Cucina**

- Situazione A: finestre chiuse e ambiente vuoto
- Situazione B: finestre chiuse e ambiente con la presenza di una persona
- Situazione C: finestre chiuse e ambiente con la presenza di una persona e fornelli accesi
- Situazione D: finestre aperte e ambiente vuoto
- Situazione E: finestre aperte e ambiente con la presenza di una persona
- Situazione F: finestre aperte e ambiente con la presenza di una persona e fornelli accesi
- Situazione G: finestre chiuse e ambiente con la presenza di due persone

- **Camera da letto**

- Situazione H: finestre chiuse e ambiente vuoto
- Situazione I: finestre chiuse e ambiente con la presenza di una persona
- Situazione L: finestre chiuse e ambiente con la presenza di due persone

CAPITOLO 3

ANALISI DEI RISULTATI

In questo capitolo sono riportati tutti i risultati sperimentali ottenuti dal rilevamento dei due sensori con il fine di valutare la qualità dell'aria in ambienti interni. Da una parte si ha il sensore Aeroqual che permette un'analisi quantitativa delle concentrazioni di CO e VOC espresse in ppm, dall'altra il dispositivo IoT mediante il quale è possibile effettuare un'analisi qualitativa visto che lo strumento è stato progettato per valutare come le concentrazioni variano da una macro-situazione all'altra; in uscita, infatti, si leggono le tensioni ai capi di una resistenza che possono essere definite come unità arbitrarie indicative.

3.1 ANALISI QUANTITATIVA

In questo paragrafo sono state prese in considerazione delle combinazioni delle situazioni sopra descritte che differiscono tra di loro per numero di persone presenti nella stanza, differente ventilazione e presenza o assenza di fonti di calore.

3.1.1 SITUAZIONE A-D

Questa circostanza descrive l'aria indoor della cucina quando le finestre sono chiuse (A) e quando sono aperte (D).

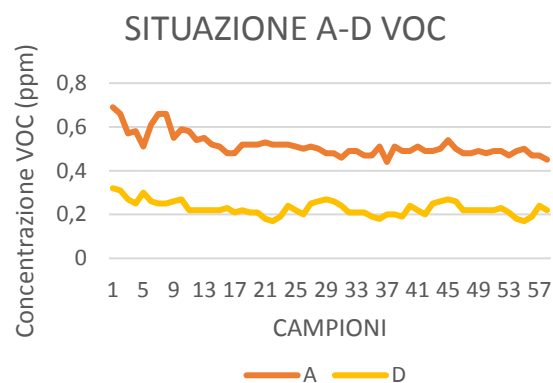


Figura 2: concentrazione VOC nella situazione A-D

Dalla figura 2 si può notare come la concentrazione dei composti organici volatili sia inferiore nella situazione D dove le finestre sono aperte, questo perché favorendo la ventilazione e la frequente aerazione delle stanze si può avere un abbassamento della concentrazione.

3.1.2 SITUAZIONE B-C e E-F

In questo sottoparagrafo quelle che vengono analizzate sono le situazioni in cui la concentrazione di VOC e CO nella cucina cambia a causa della presenza (C e F) o meno (B e E) di fonti di calore.

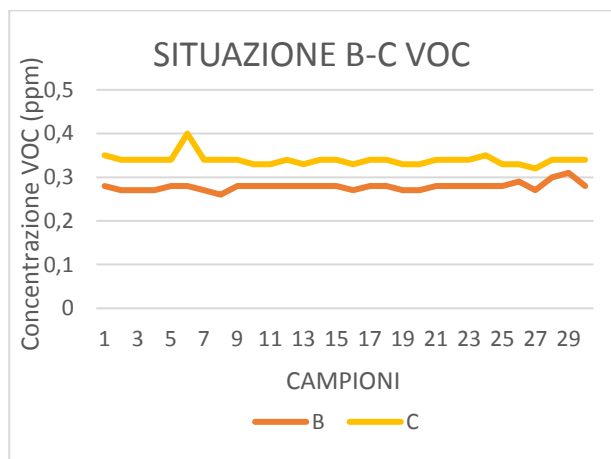


Figura 3: concentrazione VOC nella situazione B-C

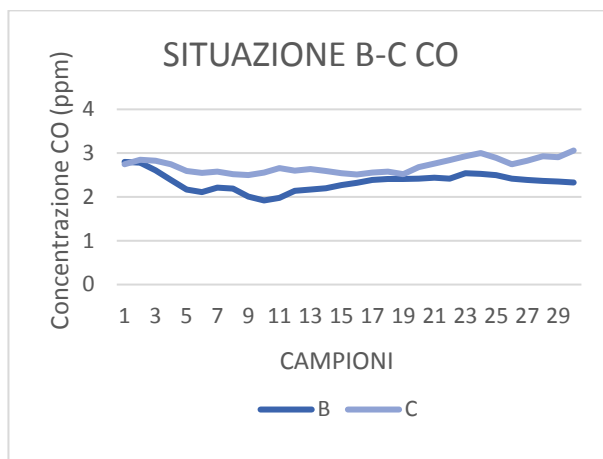


Figura 4: concentrazione CO nella situazione B-C

La figura 3 e la 4 descrivono l'andamento delle concentrazioni facendo riferimento alle situazioni in cui nella stanza è presente una persona; le finestre sono chiuse in entrambi i casi e l'unico parametro che cambia è l'uso di fonti di calore nella situazione C. Come si può osservare, nel momento in cui vengono azionati i fornelli la concentrazione dei due inquinanti aumenta in entrambi i casi poiché la combustione non è mai perfetta ed è per questo che vengono liberati gli inquinanti.

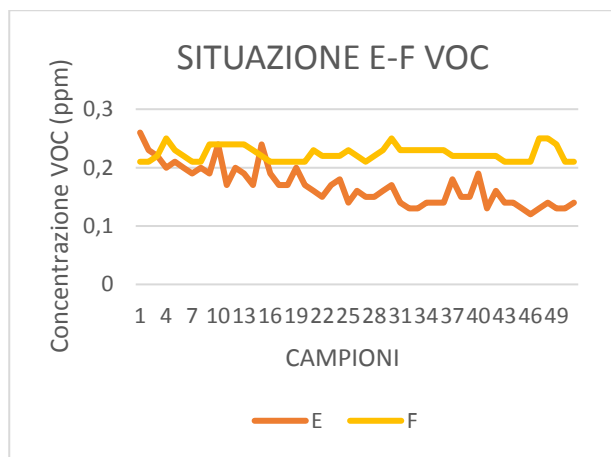


Figura 5: concentrazione VOC nella situazione E-F

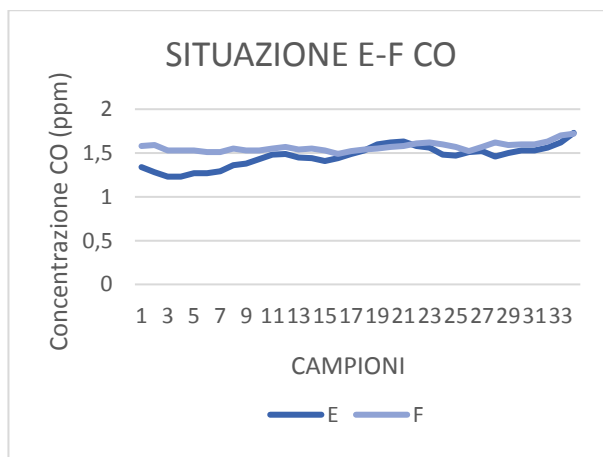


Figura 6: concentrazione CO nella situazione E-F

Anche in questa situazione si considera la cucina con all'interno una persona, ma in questo caso con le finestre aperte.

Le conclusioni tratte nella situazione precedente (B-C) valgono anche in questo caso poiché come si può notare quando si hanno fonti di combustione le concentrazioni degli inquinanti sono maggiori. Si può inoltre osservare che i valori delle ordinate dei grafici nelle figure 5 e 6 sono più bassi rispetto a quelli dei grafici nelle figure 3 e 4 perché nel primo caso le finestre sono aperte, mentre nel secondo sono chiuse; ancora una volta si osserva come la ventilazione e la corretta aerazione degli ambienti risulti importante in termini di inquinamento indoor.

3.1.3 SITUAZIONE B-E

La circostanza presa in considerazione tiene conto di una persona all'interno della cucina e una differente ventilazione: finestre chiuse (B) e finestre aperte (E), senza fonti di calore.

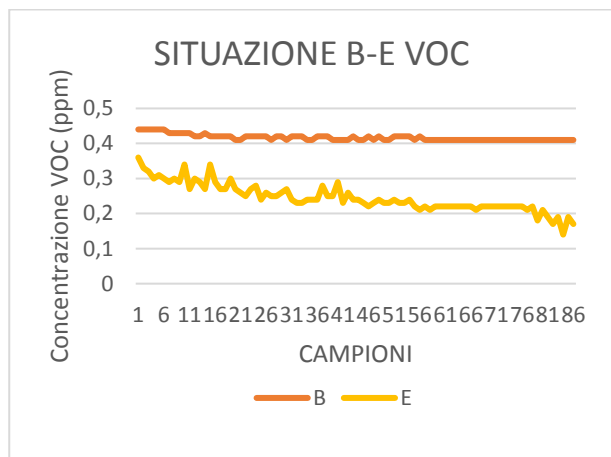


Figura 7: concentrazione VOC nella situazione B-E

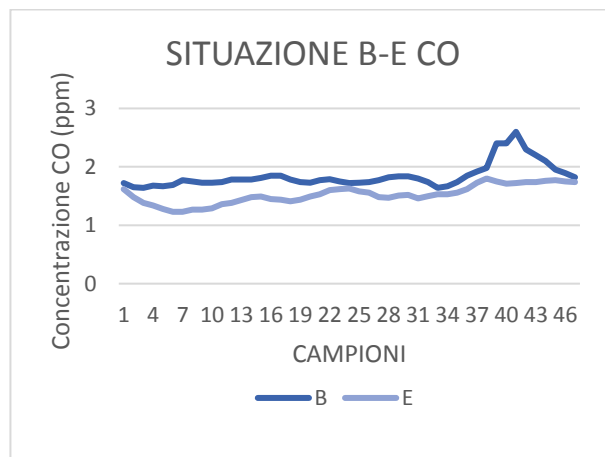


Figura 8: concentrazione CO nella situazione B-E

Nelle figure 7 e 8 viene descritta una situazione generica dove si analizza la differenza di ventilazione senza fonti di calore, ma con la sola presenza di una persona esposta a questi inquinanti. Come è possibile osservare nel momento in cui si hanno le finestre aperte entrambe le concentrazioni, di VOC e di CO, sono più basse rispetto a quando le finestre sono chiuse.

3.1.4 SITUAZIONE C-F

I dati ottenuti in questo sottoparagrafo fanno riferimento ancora alla cucina con all'interno una persona e con la presenza di fonti di calore, ma con una differente ventilazione: finestre chiuse (C) e finestre aperte (F).

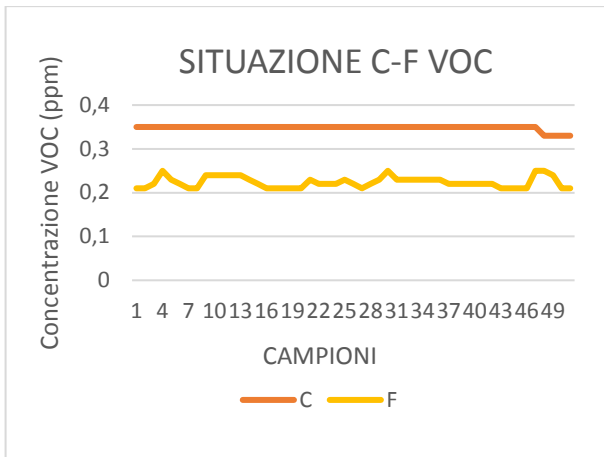


Figura 9: concentrazione VOC nella situazione C-F

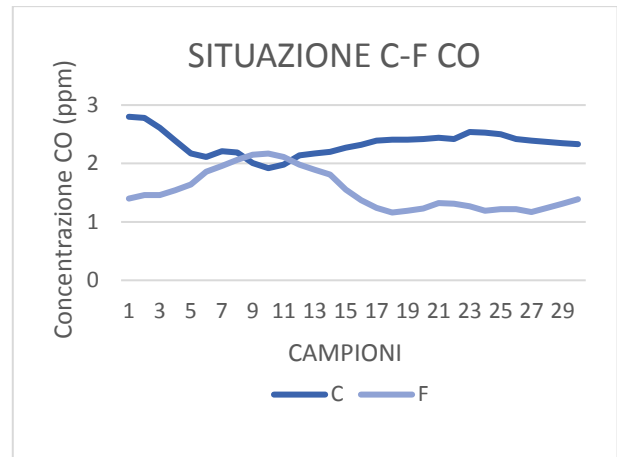


Figura 10: concentrazione CO nella situazione C-F

Anche in questo caso si può osservare, come per i precedenti, quanto sia importante un aumento della ventilazione per abbassare le concentrazioni degli inquinanti e per ridurre quindi l'inquinamento indoor dovuto a fonti di combustione. Questo è ben visibile nella figura 9, mentre nella figura 10 si può notare come solo dopo un certo numero di campioni la situazione sia diventata stazionaria e rispetti l'andamento previsto.

3.1.5 SITUAZIONE H-I-L

In questa ultima circostanza analizzata la stanza presa in considerazione non è più la cucina, ma bensì la camera da letto, dove l'unico fattore che cambia è il numero di persone presenti all'interno: senza persone (H), con una persona (I) o con due persone (L).

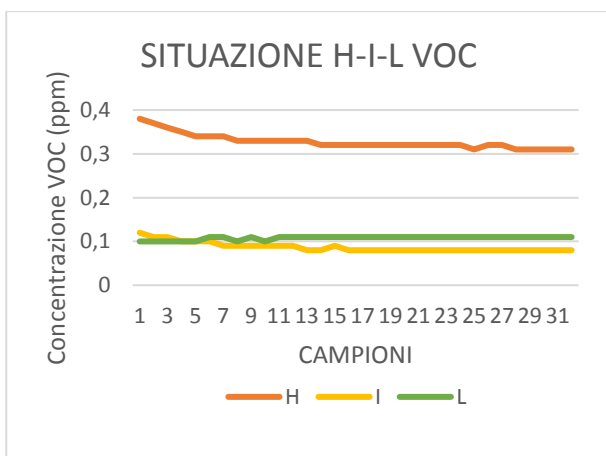


Figura 11: concentrazione VOC nella situazione H-I-L

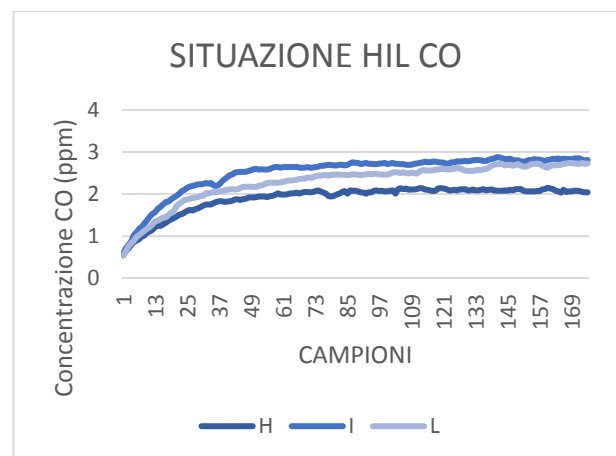


Figura 12: concentrazione CO nella situazione H-I-L

Quello che emerge da questa analisi è che sostanzialmente il numero di persone non cambia molto l'andamento delle concentrazioni degli inquinanti; questo principalmente perché le maggiori fonti di

inquinamento sono le fonti di combustione per il monossido di carbonio e i mobili e gli elementi costruttivi dell'edificio stesso per i composti organici volatili. Nella figura 11 si nota come la situazione H ovvero la rilevazione effettuata nell'ambiente vuoto sia di molto maggiore rispetto alle altre situazioni, si può quindi dedurre che in quel caso probabilmente ci sono stati altri fattori a determinare quell'aumento di concentrazione come, ad esempio, una variazione di umidità che ha aumentato le emissioni chimiche dai materiali di costruzione.

3.2 ANALISI QUALITATIVA

La maggior parte dei sensori presenti nel secondo strumento fanno parte della serie MQ.

I valori forniti da questi sensori riflettono solo l'andamento approssimativo nel tempo della concentrazione di gas per questo è possibile effettuare un'analisi qualitativa.

| | MQ2 | MQ9 | MQ135 | MQ137 | MQ138 | CO₂ |
|----------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------|
| A | 736,0564 | 919,2615 | 1415,713 | 1754,431 | 1409,379 | 2199,251 |
| B | 757,259 | 899,118 | 1454,925 | 1757,426 | 1403,062 | 2239,331 |
| C | 824,8378 | 987,0405 | 1516,784 | 1800,986 | 1488,595 | 2172,892 |
| D | 590,9571 | 716,7143 | 1266,043 | 1661,957 | 1171,571 | 2317,829 |
| E | 461,7687 | 585,1637 | 935,2847 | 1267,409 | 992,2349 | 1648,181 |
| F | 647,6538 | 728,6538 | 1291,731 | 1625,096 | 1224,442 | 2222,346 |
| G | 682,4615 | 789,7692 | 1327,231 | 1737,077 | 1363,077 | 2223,846 |
| H | 855,6979 | 929,2917 | 1594,182 | 1787,641 | 1487,599 | 2203,891 |
| I | 900,128 | 1016,658 | 1618,272 | 1814,135 | 1539,245 | 2238,927 |
| L | 907,7692 | 996,25 | 1593,654 | 1801,413 | 1546,966 | 2176,308 |

Tabella 4: medie dei valori letti in uscita da ogni sensore per ognuna delle situazioni analizzate

Nella tabella 4 sono riportate tutte le medie dei valori acquisiti dai sensori all'interno del dispositivo IoT, suddivisi per ogni situazione analizzata. I dati in uscita sono le tensioni lette ai capi della resistenza R_1 che è la resistenza che varia con la concentrazione del gas (come descritto nel CAPITOLO 2). Questi valori dipendono dalla resistenza stessa poiché, facendo riferimento al principio di funzionamento del sensore, all'aumentare di R_1 diminuisce la tensione letta. Successivamente, la variazione di resistenza può essere correlata con la concentrazione del gas andando ad analizzare i grafici che riportano la curva di sensibilità relativa ad ogni sensore presenti nei datasheet.

Analizzando nello specifico i dati riportati, si può vedere come varia la concentrazione a seconda delle macro-situazioni; ad esempio se si osservano i valori nella colonna del sensore MQ9, sensore che rileva principalmente il CO, si nota come la tensione aumenti passando dalla situazione A (finestre chiuse e ambiente vuoto) alla situazione C (finestre chiuse, ambiente con una persona e con fonti di calore) in accordo con l'accensione dei fornelli e quindi con l'aumento di concentrazione di monossido di carbonio dovuto alla combustione. La stessa osservazione vale per le situazioni D (finestre aperte e ambiente vuoto) e F (finestre aperte, ambiente con una persona e con fonti di calore) dove i valori sono però più bassi rispetto al confronto precedente poiché in questo caso nella stanza vi era una maggiore ventilazione.

Nelle situazioni B e E dove si hanno rispettivamente finestre chiuse e finestre aperte con in entrambe la presenza di una persona e l'assenza di fonti di calore, i valori che si leggono sono più bassi rispetto a quelli analizzati in precedenza perché comunque l'essere umano inala questi inquinanti mediante la respirazione e allo stesso tempo non ci sono fonti di combustione che ne aumentano la concentrazione.

Andando ad analizzare i valori della colonna relativa al sensore MQ138 che rileva principalmente la formaldeide, ovvero uno dei composti organici più comuni nell'ambiente indoor, si può vedere come nelle situazioni H (finestre chiuse e ambiente vuoto), I (finestre chiuse e ambiente con la presenza di una persona) e L (finestre chiuse e ambiente con la presenza di due persone) l'aumento del numero di persone presenti nella stanza vada ad aumentare progressivamente anche la concentrazione dell'inquinante. Questa variazione probabilmente è dovuta ad un maggiore movimento di volume d'aria e un utilizzo dell'ambiente in modo diverso a seconda delle persone.

Queste osservazioni possono essere estese anche agli altri valori della tabella che descrivono la variazione della concentrazione di altri inquinanti presenti nelle stanze.

3.3 DISCUSSIONE DEI RISULTATI

La discussione dei risultati si basa sull'analisi delle concentrazioni acquisite sia per il CO che per i VOC. Analizzando i dati del monossido di carbonio e considerando che l'intervallo di acquisizione per una determinata situazione non abbia mai superato 2 ore, si può prendere come linea guida quella stabilita dall'OMS che fa riferimento ad un'esposizione della durata di circa un'ora ed ha come valore massimo 35 mg/m^3 . Convertendo questo limite attraverso l'equivalenza $1 \text{ ppm} = 1,149 \text{ mg/m}^3$, si ottengono circa 31 ppm. Se si analizzano le figure 4,6,8 e 10 si nota come le concentrazioni non siano mai maggiori alla soglia sopra stabilita, in questo modo quindi si può concludere che la presenza di monossido di carbonio nella cucina non produce particolari effetti sulla salute delle persone esposte.

Nella figura 12 la situazione analizzata è diversa poiché la stanza non è più la cucina ma la camera da letto e quindi anche l'intervallo di acquisizione è diverso. In questo caso si può considerare come valore limite quello stabilito dall'OMS per un'esposizione della durata di 8 ore che è pari a 10 mg/m^3 e che corrisponde a circa 8,7 ppm. Nessuno dei valori acquisiti raggiunge il valore massimo perciò anche in questo caso si può concludere che le persone non sono esposte a elevati rischi per la loro salute.

Se si sposta l'attenzione verso i composti organici volatili, le concentrazioni accettabili negli ambienti indoor, definite dall'OMS, sono quelle minori di $0,25 \text{ mg/m}^3$ che convertite in ppm secondo l'equivalenza $1 \text{ ppm} = 1,231 \text{ mg/m}^3$, corrispondono a circa 0,31 ppm.

I valori acquisiti durante il rilevamento e riportati nelle figure 2,3,5,7,9 e 11 si aggirano intorno a questo limite: a volte sono inferiori, mentre in alcuni casi lo superano. Essendo l'acquisizione di breve durata, si può dedurre che per le concentrazioni maggiori della soglia non si verificano disturbi alla salute delle persone esposte a questo inquinante.

CONCLUSIONI

I risultati ottenuti dallo studio effettuato nella presente tesi hanno evidenziato come varia la concentrazione dei composti organici volatili e del monossido di carbonio in diverse situazioni, in cui i parametri che variano sono la differente ventilazione, il numero di persone presenti nella stanza e la presenza o meno di fonti di calore.

In primo luogo si evidenzia una corrispondenza tra le principali fonti di inquinanti segnalate dall'OMS e i dati rilevati. Infatti dalle situazioni analizzate si evince che la presenza di fonti di calore e quindi una combustione non completa, aumenta la concentrazione di monossido di carbonio nell'ambiente indoor.

In secondo luogo si può concludere che in un ambiente confinato la concentrazione degli inquinanti diminuisce nel momento in cui si ha una corretta ventilazione, abbassando quindi, nelle persone esposte, la possibilità di sviluppare una patologia correlata a queste sostanze.

Infine, i valori rilevati si aggirano sempre intorno alla soglia stabilita dall'OMS per questo si può dedurre che i livelli di inquinamento sono accettabili e che l'ambiente esaminato non è particolarmente dannoso per le persone al suo interno.

Questo tipo di analisi può essere inserito all'interno di un problema più complesso che è oggetto di continui studi e approfondimenti, vista la sempre più frequente insorgenza di sintomi riconducibili all'inquinamento indoor.

BIBLIOGRAFIA

- [1] *World Health Organization. Regional office for Europe. 2010: WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants.*
- [2] *World Health Organization. Regional Publications European Series, No. 78: Assessment of exposure to indoor air pollutants.*
- [3] *Tran VV, Park D, Lee YC. Int J Environ Res Public Health. 2020: Indoor Air Pollution, Related Human Diseases, and Recent Trends in the Control and Improvement of Indoor Air Quality.*
- [4] *Sotiris Vardoulakis, Evanthia Giagloglou, Susanne Steinle, Alice Davis, Anne Sleuwenhoek, Karen S. Galea, Ken Dixon and Joanne O. Crawford: Indoor Exposure to Selected Air Pollutants in the Home Environment: A Systematic Review.*
- [5] [Online] <https://www.aeroqual.com/indoor-air-quality-monitors/portable-monitors>
- [6] [Online] [https://www.salute.gov.it/portale/temi/p2_6.jsp?lingua=italiano&id=4389&area=indor&menu=vuoto#:~:text=Le%20principali%20fonti%20interne%20di,impianti%20idraulici\)%20e%20aria%20esterna](https://www.salute.gov.it/portale/temi/p2_6.jsp?lingua=italiano&id=4389&area=indor&menu=vuoto#:~:text=Le%20principali%20fonti%20interne%20di,impianti%20idraulici)%20e%20aria%20esterna)
- [7] [Online] https://www.salute.gov.it/portale/temi/p2_6.jsp?lingua=italiano&id=4386&area=indor&menu=salute
- [8] [Online] <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/introduction-indoor-air-quality>
- [9] [Online] <https://www.minambiente.it/pagina/gli-inquinanti>
- [10] [Online] <http://www.nonsoloaria.com/prto1.htm>
- [11] [Online] https://win.adrirobot.it/sensori/sensor_mq/sensor_mq.htm
- [12] [Online] <https://www.techfly-snc.it/rilievi-fotografici-con-drone/ispezione-ambientale/valutazione-dell-aria-mediante-sensori-in-volo>