



POLITECNICO DI TORINO

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN
INGEGNERIA DEI SISTEMI EDILIZI**

TESI DI LAUREA

**IL BIM PER L'ANALISI FLUIDODINAMICA:
AMBITO INDUSTRIALE ED AMMINISTRATIVO**

Relatore:

Prof.ssa Anna Osello

Correlatore:

Dott. Matteo Del Giudice

Dott. Giulio Di Vico

Candidato:

Marco Gremmo

ABSTRACT

Gli oggetti di studio della seguente analisi sono stati due differenti tipologie di edifici esistenti con destinazioni d'uso molto diverse fra di loro: la prima tipologia di fabbricato è rappresentata dal grattacielo Torre della Regione Piemonte, sita a Torino, edificio dedicato al settore terziario dell'amministrazione.

La seconda tipologia è rappresentata invece da due edifici industriali appartenenti a FCA siti rispettivamente a Grugliasco (TO), fabbricato destinato alla finitura di autoveicoli Maserati, ed a Gassino (FR), anch'esso con destinazione d'uso analoga.

In entrambi i casi, si è scelto di considerare porzioni limitate del fabbricato, con il preciso scopo di effettuare una simulazione energetica relativa alla grandezza fisica *intensità di velocità dell'aria* di ventilazione tramite l'utilizzo di software BIM appartenenti alla software-house Autodesk: Autocad, Revit, Inventor e CFD.

Protagonisti del seguente lavoro, non saranno dunque solamente i fabbricati, ma anche le problematiche e le soluzioni trovate relative all'interoperabilità dei software fra di loro, le potenzialità della collaborazione fra utenze e professionisti differenti, oltre all'esposizione finale dei risultati raggiunti.

Il punto di partenza del lavoro è stato l'ottenimento dei dati esistenti, sia in formato di scheda tecnica (si vedrà in particolare il caso delle bocchette di aerazione degli impianti industriali), sia in formato file .dwg di Autodesk Autocad, forniti da FCA e Regione di Torino.

Attraverso i dati iniziali di input è stato possibile ottenere dei modelli BIM tramite l'utilizzo dei software Autodesk Revit ed Inventor, per poi utilizzarli nel programma di simulazione energetica Autodesk CFD.

Attualmente la programmazione BIM (Building Information Modelling) ha raggiunto livelli raffinati, in particolare quella relativa al software utilizzato in maniera massiva, Revit. I problemi principali si sono infatti manifestati nell'esportazione dei modelli Revit negli altri programmi, a causa della complessità del modello ed all'elevato livello di dettaglio.

Le tappe principali di questo lavoro sono essenzialmente tre: l'analisi dello stato dell'arte, la modellazione con il conseguente inserimento dei dati di input forniti e trasformati sotto forma di modello BIM, ed infine l'inserimento dei modelli così

ottenuti nel software di simulazione con il conseguimento di risultati finali di output affidabili.

Riassumendo, possiamo definire quindi in questo modo i vari step seguiti:

- Ottenimento dei dati iniziali sia in formato cartaceo (schede tecniche), sia digitale (piante degli edifici e degli impianti, e modelli architettonici, strutturali ed impiantistici).
- Trasformazione dei dati iniziali in modelli BIM tramite i software di modellazione architettonica Revit e meccanica Inventor.
- Esportazione dei modelli ottenuti nel software di simulazione energetica CFD, con opportune modifiche in caso di scarsa compatibilità del modello esportato.
- Raggiungimento dell'obiettivo iniziale, ovvero di risultati attendibili in merito alla movimentazione dell'aria di ventilazione all'interno dei vari fabbricati.

Seguendo il modus operandi sopra descritto, sia per quanto riguarda il caso studio della Torre della Regione Piemonte, sia relativamente ai due fabbricati industriali di proprietà FCA, si è giunti all'ottenimento di modelli fluidodinamici basati sulla grandezza fisica intensità di velocità dell'aria realistici, e concordi rispetto ai valori aspettati. Occorre sottolineare che per il raggiungimento di modelli accettabili, le modifiche apportate a quelli iniziali, in particolare per il caso di Torre della Regione Piemonte, sono state massicce. Appare quindi evidente, in caso di analisi computazionali fluidodinamiche, la necessità di creare un modello di input "ad hoc", differente quindi da un modello architettonico o strutturale sia per le caratteristiche delle geometrie (da semplificare in caso di modelli complessi), sia per quelle relative ai materiali (da inserire nuovamente nel software di simulazione energetica).

Gli obiettivi da prefissare per un ulteriore sviluppo del corrente lavoro, sono di duplice natura:

- Effettuare simulazioni energetiche utilizzando modelli dal dettaglio superiore, in modo da rispettare fedelmente lo stato di fatto, evitando così la perdita di qualsiasi tipo di informazione.
- Effettuare simulazioni energetiche di natura dinamica, introducendo quindi la variabile tempo all'interno del modello, in modo da valutare la grandezza fisica considerata non solo in modo statico, ma anche la sua evoluzione nel tempo.

INDICE

1 INTRODUZIONE	1
1.1 OBIETTIVI DELLA TESI.....	1
1.2.1 GRATTACIELO TORRE DELLA REGIONE PIEMONTE.....	3
1.2.2 STABILIMENTO FIAT SITO A GRUGLIASCO (TO).....	5
1.2.3 STABILIMENTO FCA SITO A CASSINO (FR).....	9
2 METODOLOGIA E STRUMENTI.....	10
2.1 INTRODUZIONE AL BUILDING INFORMATION MODELLING	10
2.2 RUOLO DEL BIM NELLA SIMULAZIONE.....	15
2.3 PROCESSO DI SCAMBIO DI INFORMAZIONI ED INTEROPERABILITÀ	18
2.3.1 INTRODUZIONE AD AUTODESK REVIT	18
2.3.2 MODALITÀ OPERATIVA DA FILE CENTRALE O FILE LOCALE NELLA COLLABORAZIONE FRA FILE DIVERSI (AUTODESK REVIT)	21
2.3.3 INTRODUZIONE AD AUTODESK INVENTOR.....	24
2.3.4 MODELLAZIONE SU AUTODESK INVENTOR.....	25
2.3.4 INTRODUZIONE AD AUTODESK CFD	30
2.3.5 MODELLAZIONE SU AUTODESK CFD	31
3 IL MODELLO BIM: DALLO STATO DI FATTO ALLA PROGETTAZIONE.....	42
3.1 CASO TORRE DELLA REGIONE PIEMONTE.....	43
3.1.1. STATO DELL'ARTE, DOCUMENTI INIZIALI E PROCEDURA DI CONDIVISIONE FILE E DATI.....	43
3.1.2 LA MODELLAZIONE MEP	51
3.2 CASO FABBRICATO INDUSTRIALE FCA SITO A GRUGLIASCO (TO).....	55
3.2.1 STATO DELL'ARTE E DOCUMENTAZIONE INIZIALE.....	55
3.2.2 MODELLAZIONE MECCANICA BOCCHETTE SINGOLE E GRUPPI DI BOCCHETTE DI VENTILAZIONE-ASPIRAZIONE	56
3.3 CASO FABBRICATO INDUSTRIALE FCA SITO A CASSINO (FR).....	60
3.3.1 STATO DELL'ARTE E DOCUMENTAZIONE INIZIALE.....	60
3.3.2 MODELLAZIONE MECCANICA BOCCHETTE SINGOLE E GRUPPI DI BOCCHETTE DI VENTILAZIONE-ASPIRAZIONE	61
4 DAL MODELLO BIM ALL'ANALISI COMPUTAZIONALE DINAMICA (CFD Simulation) .65	
4.1 CASO TORRE DELLA REGIONE PIEMONTE.....	67
4.1.1 ESPORTAZIONE INIZIALE DEL MODELLO E RELATIVE PROBLEMATICHE	67
4.1.2 MODELLO SEMPLIFICATO E SIMULAZIONE DINAMICA COMPUTAZIONALE (CFD Simulation).....	73
4.2 CASO FABBRICATO FCA SITO A GRUGLIASCO (TO)	84
4.2.1 ESPORTAZIONE INIZIALE DEL MODELLO E RELATIVE PROBLEMATICHE	84
4.2.2 BOCCHETTA 40 cm x 40 cm SINGOLA TEORICA	85

4.2.3 BOCCHETTA 40 cm x 40 cm SINGOLA TEORICA CON CONDIZIONI REALI ALL'INTORNO	91
4.2.4 GRUPPO DI QUATTRO BOCCHETTE 40 cm x 40 cm TEORICHE CON CONDIZIONI REALI AL CONTORNO	96
4.2.5 BOCCHETTA 40 cm x 40 cm REALE CON CONDIZIONI REALI AL CONTORNO	102
4.2.6 GRUPPO DI 4 BOCCHETTE 40 cm x 40 cm REALI CON CONDIZIONI REALI AL CONTORNO	108
4.3 CASO STABILIMENTO FCA DI CASSINO (FR).....	115
4.3.1 ESPORTAZIONE INIZIALE DEL MODELLO E RELATIVE PROBLEMATICHE	115
4.3.2 GRUPPO DI MODELLO COSTITUITO DA DUE BOCCHETTE DI DIMENSIONI 1600 cm X 30 cm CON INTENSITÀ DI VELOCITÀ ORIZZONTALE	116
4.3.2 GRUPPO DI MODELLO COSTITUITO DA DUE BOCCHETTE DI DIMENSIONI 1600 cm X 30 cm CON INTENSITÀ DI VELOCITÀ VERTICALE	120
5 CONCLUSIONI E POSSIBILI SVILUPPI FUTURI	124
5.1 OBIETTIVI FUTURI E POTENZIALI EVOLUZIONI	126
5.1.1 MODIFICA DEI MODELLI PRIMA DELL'ESPORTAZIONE IN AUTODESK CFD Simulation	126
5.1.2 IMPLEMENTAZIONE DEI MODELLI AUTODESK INVENTOR CON MODELLO AUTODESK REVIT	127
5.1.3 CFD SIMULATION: DA CASO STATICO A CASO DINAMICO.....	130

1 INTRODUZIONE

1.1 OBIETTIVI DELLA TESI

L'obiettivo principale della tesi, è senza dubbio lo sfruttamento della tecnologia BIM, ed in particolare di alcuni programmi della casa produttrice Autodesk, quali Autodesk Inventor, Autodesk CFD e Autodesk Revit, ai fini di modellazione di bocchette di ventilazione di due differenti fabbricati industriali, e di conseguenza con caratteristiche diverse fra di loro, e, nel passaggio immediatamente successivo, di simulazione energetica relativamente alla grandezza fisica velocità dell'aria, atta al confronto fra le varie tipologie di bocchette.

In particolare quindi, lo sviluppo della tesi, tratterà prima un breve workflow relativo ai programmi utilizzati, focalizzando l'attenzione su Autodesk Inventor ed Autodesk CFD, successivamente la modellazione attraverso Autodesk Revit ed Autodesk Inventor del modello di un piano tipo (nel nostro caso il trentesimo) del grattacielo Torre della Regione e delle varie tipologie di bocchette di ventilazione dei due fabbricati industriali di proprietà FCA presi in considerazione, ed infine lo sviluppo di modelli adatti all'esportazione e simulazioni energetiche degli stessi, in modo da poter essere messe a confronto, con conseguente giudizio non puramente qualitativo, ma anche e soprattutto quantitativo.

La prima parte del lavoro, sarà dunque caratterizzata dalla modellazione attraverso i software Autodesk (ed in questo caso particolare, Autodesk Revit), del piano trentesimo del grattacielo Torre della Regione, sito in Torino. In particolare verrà focalizzata l'attenzione sul modello iniziale creato, caratterizzato da un livello di dettaglio molto alto, relativamente all'impianto di distribuzione orizzontale e verticale dell'impianto di distribuzione dell'aria, e sulle relative problematiche nell'esportazione nei software di simulazione, con la conseguente semplificazione a soli terminali dell'impianto e a geometrie meno complesse di quelle reali.

Verrà trattata esclusivamente la modellazione dell'impianto di ventilazione, che implica però l'utilizzo congiunto di file provenienti da autori diversi, con conseguente sfruttamento di uno dei principi cardine sui cui si basano la tecnologia e la filosofia BIM, ovvero l'interoperabilità.

Verrà infatti trattata in un'apposita sezione, la scelta in merito alla gestione delle varie fonti e dei vari file, in modo da avere una scala gerarchica a cui fare facilmente riferimento in caso di modifica di uno o più di essi, anche da parte di autori diversi.

Questa prima parte prevede poi il successivo inserimento del modello così costruito, nel programma di simulazione energetica di cui si è parlato in precedenza, Autodesk CFD; si tratta in questo caso di un'analisi relativa ad un intero piano di un edificio, trattando quindi di una caso generale di simulazione: non si va infatti ad analizzare una porzione limitata di un fabbricato, ma un intero piano, con l'impianto di distribuzione dell'aria di ventilazione nella sua interezza.

La seconda parte del lavoro è invece basata sul principio di passaggio dal generale al particolare, infatti in questo caso particolare non si andrà ad analizzare un intero piano di un edificio, ma solo una porzione di esso, ponendo quindi l'accento sulla modellazione in scala 1:1 dei terminali di ventilazione, ovvero una serie di bocchette di ventilazione che verranno trattate in modo dettagliato nei capitoli di competenza

Anche in questa sezione il flusso di lavoro segue in maniera simile il precedente, ovvero la definizione di un modello iniziale tramite appositi software di modellazione (Autodesk Inventor), la messa in evidenza delle problematiche relative all'esportazione nei software di modellazione (Autodesk CFD), la conseguente semplificazione del modello iniziale e la simulazione vera e propria con analisi dei risultati e confronti fra le varie bocchette di ventilazione considerate.

Il lavoro si concluderà quindi con un'analisi dei risultati ottenuti e della compatibilità dei vari software appartenenti a medesima software house, con dettaglio su problematiche ed aspetti positivi in merito all'interoperabilità sia fra utenze diverse sia fra programmi differenti. Verranno poi presi in considerazione potenziali sviluppi futuri ed eventuali migliorie apportabili alla trattazione.

1.2 DESCRIZIONE OGGETTO DI STUDIO

1.2.1 GRATTACIELO TORRE DELLA REGIONE PIEMONTE

Di seguito verrà fornita una breve descrizione del primo edificio preso in considerazione nel lavoro, ovvero il grattacielo della Regione Piemonte, in cui verranno prese in considerazione le caratteristiche principali dell'edificio, la locazione e lo sviluppo storico.

Come descritto sul sito della regione Piemonte, il grattacielo Torre della Regione Piemonte: *“è un edificio amministrativo sito in Torino, i cui lavori di costruzione sono iniziati il 30 novembre 2011. Dovrebbe diventare futuro palazzo unico della Regione ad eccezione del Consiglio regionale, che rimarrà nella sua storica sede di Palazzo Lascaris. Progettato dallo Studio Fuksas e presentato alla Giunta Regionale piemontese durante un'audizione pubblica tenutasi a Torino il 22 novembre 2007, l'opera realizzata prevede 42 piani, di cui 41 a uso civile e l'ultimo, il più alto, da adibire a bosco pensile.*

La sede individuata per la costruzione dell'edificio è rappresentata da un'area già utilizzata dall'ex Fiat Avio, poco distante dal polo fieristico del Lingotto, nel quartiere di Nizza Millefonti a Torino.”¹ (Sito Regione Piemonte, 2007)



Figura 1: Immagine esterna Torre della Regione Piemonte. (ingegneri.info, 2017)

¹ Per maggiori informazioni relative alla storia del grattacielo, visitare il sito di riferimento: <http://www.regione.piemonte.it/notizie/piemonteinforma/archivio/diario/2007/novembre/grattaciolo.htm>, consultato il 20/01/2018 alle ore 9.30

Come evidenziato dal sito di riferimento per gli edifici a sviluppo verticale elevato: “CTBUH Tall building Database”: *“Il grattacielo, terzo per altezza in Italia dopo la Torre Unicredit di Milano di 231 metri e la Torre Isozaki (Allianz) di 209,20 metri sempre a Milano, prevede 42 piani di cui due interrati: 41 saranno destinati a ufficio mentre l'attico del 43° piano ospiterà un bosco pensile accessibile al pubblico. Il progetto subì numerose modifiche, che ne determinarono la riduzione in altezza, da quella originale di 220 m a quella definitiva di 209 m. Sulle facciate è prevista l'installazione di 1.000 m² di pannelli fotovoltaici, per garantire per quanto possibile l'autosufficienza energetica, unita alla costruzione di grandi superfici vetrate per ridurre la necessità di ricorrere a luce artificiale.”* (CTBUH Tall Building Database, 2007)²

Per quanto riguarda invece le caratteristiche planimetriche, come riportato dall'articolo pubblicato sul quotidiano nazionale “La Repubblica”: *“La superficie complessiva sulla quale sorge il grattacielo è di circa 70.000 m², ma sono previsti circa 60.000 m² di spazi accessori e opere esterne che prevedono anche l'insediamento di esercizi commerciali al fine di rilanciare lo sviluppo del quartiere. Saranno anche previsti la realizzazione di un nuovo quartiere residenziale capace di ospitare circa 5.000 abitanti e la nuova stazione ferroviaria Lingotto, con una struttura a ponte che collegherà l'attuale scalo esistente.”* (La Repubblica, 2012)³

² Per informazioni relative alle caratteristiche geometriche dell'edificio visitare il sito: <http://www.skyscrapercenter.com>, attivo il 20/01/2018 alle ore 10.

³ L'articolo a cui si fa riferimento nella definizione delle caratteristiche planimetriche è il seguente, a cui rimandiamo per consulenze ulteriori: “La Repubblica” del 27 luglio 2012, p. V della sezione “Cronaca di Torino”.

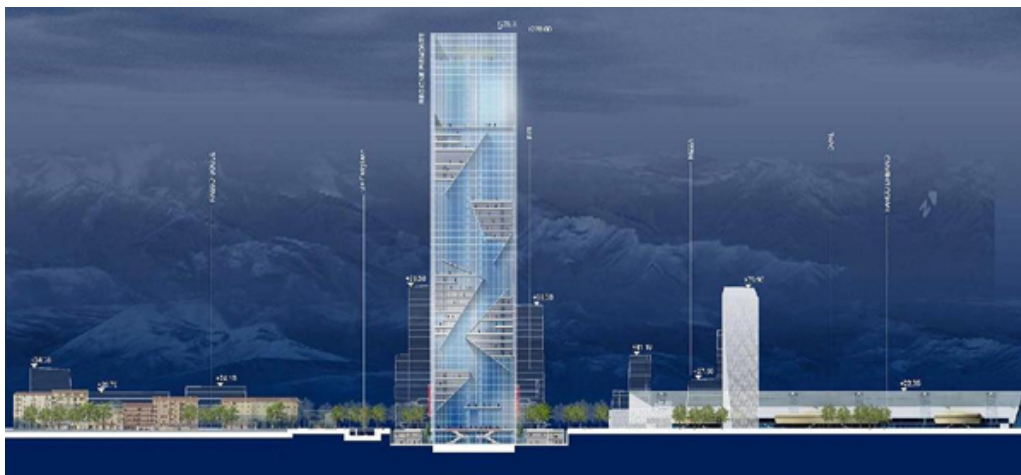


Figura 2: Sezione Torre della Regione Piemonte (<http://skyminoshouse.blogspot.it>, 2017).

Come anticipato in precedenza nel nostro lavoro, non verrà trattato l'edificio nella sua interezza, ma solamente il piano trentesimo, considerato un piano tipo affidabile, viste le differenze limitate fra i vari livelli. Si può quindi ragionevolmente assumere che sia il modello architettonico, sia quello impiantistico, sia le successive simulazione energetiche possano essere considerate valide anche per gli altri piani.

1.2.2 STABILIMENTO FIAT SITO A GRUGLIASCO (TO)

Come anticipato nell'introduzione, i casi studio che verranno trattati all'interno della tesi, sono essenzialmente due:

- Il primo, relativo all'impianto di ventilazione (aspirazione) di un fabbricato industriale, sito a Grugliasco (TO).
- Il secondo, relativo all'impianto di ventilazione (aspirazione) di un fabbricato industriale, sito a Cassino (FR).

Occorre anticipare sin da subito, che le semplificazioni apportate al caso studio reale, hanno portato a considerare all'interno della modellazione e della successiva simulazione, una porzione limitata dell'impianto stesso, che si riduce in particolare a:

- Un quadrante di quattro bocchette uguali fra di loro per forma, dimensioni, materiali e caratteristiche fisico-tecniche, per quanto riguarda il primo fabbricato industriale sito a Grugliasco.

- Un filare di due bocchette uguali fra di loro per forma, dimensioni, materiali e caratteristiche fisico-tecniche, per quanto riguarda il secondo fabbricato industriale sito a Cassino.

La distribuzione impiantistica verrà sviscerata nel dettaglio successivamente, quanto si tratteranno singolarmente le tipologie di bocchette impiegate.

Verrà adesso fornita una breve descrizione dei due fabbricati presi in considerazione, sia dal punto di vista geografico, sia storico, sia impiantistico.

Il primo fabbricato analizzato è sito a Grugliasco e di seguito verranno forniti dettagli in merito a storia, costruzione e posizione.

Di seguito verranno fornite immagine relative alla posizione del fabbricato all'interno della regione Piemonte e del Torinese.



Figura 3: Posizione stabilimento Grugliasco (Google Maps, 2017).

La cronologia degli eventi che ha caratterizzato lo sviluppo storico del fabbricato degli eventi, è descritta approfonditamente sul sito a cui abbiamo fatto riferimento: “Omniauto.it”, di cui riporteremo le parti fondamentali: *“Lo stabilimento di Grugliasco è una fabbrica automobilistica situata nel comune di Grugliasco, in provincia di Torino; costruita nel 1959 dalla Bertone, è dal 2009 proprietà del gruppo FCA. In un piano di sviluppo della produzione, spinto anche dalla commessa ottenuta dalla NSU Motorenwerke per la fabbricazione della NSU Prinz Sport, la Carrozzeria*

Bertone decise la costruzione di un nuovo apparato produttivo che venne inaugurato nel 1959.

Da quel momento iniziò la produzione o l'assemblaggio di versioni specifiche dei modelli di serie per conto di varie case automobilistiche, a partire dalla Fiat 850 Spider che, tra il 1965 e il 1972 venne prodotta in oltre 130.000 esemplari.

Tra gli altri modelli che, oltre a essere disegnati, furono assemblati direttamente a Grugliasco vi sono la ASA 1000 GT, la Volvo 780, le versioni cabriolet dell'Opel Astra F e della Fiat Punto e la Opel Astra Coupè e Cabriolet G.

Nel 2000 vi fu anche un'escursione in campo motociclette con l'assemblaggio del BMW C1.

L'ex stabilimento della Bertone di Grugliasco, in Piemonte, è stato acquisito dalla Fiat il 6 Agosto 2009, con il nuovo nome di FGA-OAG (Officine Automobilistiche Grugliasco).

Il sito è stato denominato AGAP, acronimo di "Avvocato Gianni Agnelli Plant".

Nel corso del 2012 è partito il rilancio di questo stabilimento con la fine della cassa integrazione in corso dal 2008 per i suoi 1100 dipendenti: il nuovo modello in produzione da ottobre è la nuova Maserati Quattroporte del 2013, il cui lancio è avvenuto a metà gennaio 2013.

Nel corso del 2013 è avvenuto il lancio della nuova Maserati Ghibli del 2013, con l'aumento della forza lavoro a circa 1500 addetti”.⁴(Omniauto.it, 2012)

Di seguito verranno fornite alcune immagini relative alla produzione automobilistica di AGAP.⁵

⁴ Per maggiori informazioni sulla storia dello stabilimento di proprietà FCA sito a Grugliasco (TO), fare riferimento ai seguenti articoli presenti sul sito “Omniauto.it”, consultato il 27/01/2018 alle ore 12.: “Bertone, 100 anni con stile”, su omniauto.it, 18 marzo 2012, consultato il 27/01/2018 alle ore 12.15; “Bertone: novant'anni di storia”, su motorbox.com, 15 marzo 2002, consultato il 27/01/2018 alle ore 12.25.

⁵ Le immagini inserite nel corrente lavoro sono state prese dal seguente articolo de “Il Sole 24 Ore”, a cui fare riferimento per eventuali approfondimenti sulla storia dello stabilimento e su Bertone: “Grugliasco fonde due storie: Fiat e Bertone”, 29 dicembre 2016, consultato il 27/01/2018 alle ore 13.



Figura 4: Operazioni di montaggio all'interno del fabbricato (“Il Sole 24 Ore”, 2016).



Figura 5: Finitura montaggio all'interno del fabbricato (“Il Sole 24 Ore”, 2016).

1.2.3 STABILIMENTO FCA SITO A CASSINO (FR)

Le informazioni riportate in merito allo stabilimento di proprietà FCA sito a Cassino provengono dal sito di riferimento “cassino.italiavirtualtour.it”: *“Lo stabilimento Alfa Romeo di Cassino è una fabbrica del Gruppo FCA situata nel comune di Piedimonte San Germano, a tre chilometri da Cassino, in provincia di Frosinone. L'impianto fu costruito nel 1972, ingrandendosi negli anni fino a raggiungere gli attuali due milioni di metri quadrati, di cui 400 mila coperti.*

Nel tempo, sono state prodotte oltre 7 milioni di vetture per i marchi FIAT, Lancia e Alfa Romeo. Qui sono state costruite automobili come la Fiat Ritmo, la Fiat Tipo, la Lancia Delta; mentre oggi vi si producono le Alfa Romeo Giulietta, Giulia e Stelvio. (cassino.italiavirtualtour.it, 2017)⁶

Come nel caso precedente, relativo al fabbricato di Grugliasco verrà ora fornita un'immagine relativa alla posizione geografica dello stabilimento all'interno della Regione Lazio.⁷



Figura 6: Posizione stabilimento a Cassino (Google Maps, 2017).

⁶ Per ulteriori informazioni in merito alla storia, alle caratteristiche di produzione e agli sviluppi futuri dello stabilimento di proprietà FCA sito a Cassino (FR), si invita a visitare il sito internet: “cassino.italiavirtualtour.it”, consultato il 28/01/2018 alle ore 10.

⁷ Anche in questo caso per maggiori nozioni in merito alla locazione geografica del fabbricato, fare riferimento al sito: “<https://www.google.it/maps>”, consultato il 28/01/2018 alle ore 10.30

2 METODOLOGIA E STRUMENTI

Prima ancora dell'inizio dell'analisi della singola distribuzione impiantistica, è sembrato opportuno però dedicare alcune pagine all'introduzione ai programmi utilizzati, attraverso un workflow dei singoli programmi, che sarà caratterizzato da una breve spiegazione teorica sul funzionamento e sugli obiettivi e degli stessi, alla quale verranno affiancate le immagini dei modelli ottenuti attraverso i suddetti software, nell'analisi degli impianti di ventilazioni oggetto di studio.

2.1 INTRODUZIONE AL BUILDING INFORMATION MODELLING

Il BIM (acronimo inglese di Building Information Modelling), rappresenta una metodologia di lavoro, utilizzata in particolar modo in ambito architettonico, ma con molteplici sfumature in settori completamente diversi, quali ad esempio quello ospedaliero oppure tutto il mondo legato alla realtà virtuale ed aumentata.

Per quanto concerne l'edilizia, assume particolare rilevanza nella progettazione e costruzione (architettura, ingegneria, impianti tecnici) come anche nel facility management.

Come descritto nel manuale sul BIM: “BIM handbook: A guide to building information modelling for owners managers, designers, engineers and contractors” Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. John Wiley & sons, 2008; è insita nella definizione stessa di BIM la peculiarità di rappresentare una vera e propria attività, e non un modello a sé stante.: *“to describe an activity (meaningbuilding information modeling), rather than an object (building information model).This reflects our belief that BIM is not a thing or a type of software but a human activity that ultimately involves broad process changes in construction”*.

Occorre ora precisare cosa si intende per tale attività, utilizzando le parole di Jerry Laiserin nelle sue “Laiserinletter”, possiamo così definirla: *“use of shared digital representation of a built object (including buildings, bridges, roads, process plants, etc.) to facilitate design, construction and operation processes to form a reliable basis for decisions”*.

In sintesi, BIM, usato come nome, è la rappresentazione di un modello di dati diversi di un edificio relazionati alle diverse discipline che lo definiscono. I dati contenuti nel modello sono numerosi in quanto definiscono tutte le informazioni riguardanti uno specifico componente di una costruzione. In questo senso, un modello tridimensionale della geometria di un edificio utilizzato solo per simulazioni grafiche (rendering) non può essere considerato BIM.

Il ciclo di vita dell'opera costruita è definito dalla fase progettuale attraverso la fase di realizzazione fino a quella di uso e manutenzione, e proprio sulla base di queste differenti fasi dell'edificio saranno fondamentali, quelli che all'interno del mondo BIM, vengono definiti LOD (Level of definition), ovvero i livelli di dettaglio.

Grazie alla metodologia BIM, è infatti possibile, a seconda della funzione, della destinazione d'uso, oppure del grado di dettaglio richiesto per una specifica operazione, stabilire quanto dettagliato un determinato livello possa essere. Come si vedrà nei capitoli successivi, un elevato grado di dettaglio, fondamentale ad esempio in un edificio a target architettonico, può perdere di significato, o addirittura diventare problematico per un target di analisi o simulazione fluidodinamica. Questa elevata flessibilità nel *modeling*, permette dunque di avere un *model* facilmente adattabile, a seconda della destinazione d'uso e dell'utilizzo finale.

Un BIM può contenere qualsiasi informazione riguardante l'edificio o le sue parti. Le informazioni più comunemente raccolte in un BIM riguardano la localizzazione geografica, la geometria, le proprietà dei materiali/componenti/sistemi e degli elementi tecnici, le fasi di realizzazione, le operazioni di manutenzione, lo smaltimento di fine ciclo.

Di seguito forniremo alcune immagini esplicative relative al concetto di BIM, affiancate da ulteriori descrizioni ed approfondimenti dello stesso.

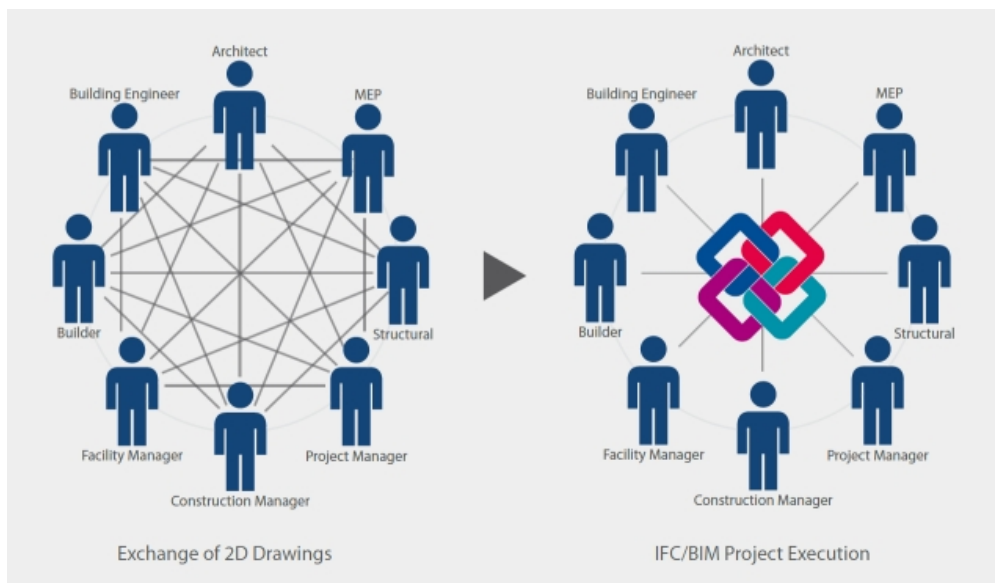


Figura 8: Schema di confronto fra 2D e BIM (www.edilportale.com, 2017).

L'immagine sopra rappresentata ben raffigura il concetto base connotato al Building Information Modelling, ed in particolare mette in luce le differenze fondamentali che sussistono fra una progettazione tradizionale in due dimensioni e una progettazione moderna in tre dimensioni.

Per meglio evidenziare queste diversità riportiamo ora la spiegazione dettagliata fornita dal sito a cui abbiamo fatto riferimento in questo paragrafo, ovvero: “[edilportale.com](http://www.edilportale.com)”, a cui rimandiamo per ulteriori ed eventuali approfondimenti.

Ecco dunque l'annunciato articolo a cui si è fatto riferimento in precedenza in merito alla differenza fra le due metodologie operative:

“Mentre la progettazione CAD permette l'elaborazione di un progetto attraverso disegni in 2D o 3D la progettazione BIM non si limita ad informazioni visive o rendering ma specifica le funzionalità e le prestazioni di ogni oggetto BIM presente nel progetto o dell'interno edificio elaborato.

BIM: i vantaggi

Il BIM è nato dalla volontà di andare verso la collaborazione tra i progettisti, l'interoperabilità dei software, l'integrazione tra i processi e la sostenibilità.

Il BIM è infatti un metodo di progettazione collaborativo in quanto consente di integrare in un unico modello le informazioni utili in ogni fase della progettazione: quella architettonica, strutturale, impiantistica, energetica e gestionale. Per questo può essere utilizzato dagli impiantisti, dagli ingegneri strutturisti, dagli architetti, dal costruttore, dai montatori, dai collaudatori ecc.

Il modello tridimensionale quindi racchiude informazioni riguardanti volume e dimensioni, materiale, aspetto, caratteristiche tecniche che non vengono perse nella comunicazione ad altri studi ed altre piattaforme informatiche.

La tecnologia BIM offre molteplici vantaggi come: maggiore efficienza e produttività, meno errori, meno tempi morti, meno costi, maggiore interoperabilità, massima condivisione delle informazioni, un controllo più puntuale e coerente del progetto. Inoltre un progetto BIM dà la possibilità alla committenza di avere un'elaborazione virtuale del ciclo di vita dell'edificio, anche dopo la fase di progettazione; in questo modo è più semplice monitorare la vetustà dei materiali e programmare meglio la manutenzione.”⁹

(edilportale.com,2017)

Nel sottocapitolo immediatamente successivo verrà fornito un breve schema introduttivo sulla metodologia di lavoro utilizzata, in cui si farà notare il flusso delle operazioni seguito durante le varie fasi della tesi, ponendo l'accento sul ruolo di ciascuno dei software utilizzati, che saranno protagonisti anche del sottocapitolo a seguire, in cui sarà presentata una sorta di tutorial sull'utilizzo degli stessi, prima di parlare della modellazione e della simulazione vera e propria.

⁹ Anche in questo caso, se la spiegazione fornita in questa relazione non dovesse sembrare sufficientemente esaustiva, si rimanda al sito a cui si è fatto riferimento, ovvero: “edilportale.com”, consultato il 05/02/2018 alle ore 15.

2.2 RUOLO DEL BIM NELLA SIMULAZIONE

Come anticipato precedentemente, lo scopo principale di questo lavoro è lo sfruttamento del mondo BIM allo scopo di ottenere, a partire da un modello iniziale con determinate informazioni di progetto, un modello finale relativo alla simulazione energetica, anche se limitata all'intensità di velocità all'aria di ventilazione nel nostro caso.

Si è pertanto ritenuto opportuno fornire lo schema grafico successivo, allo scopo di analizzare il ruolo dei singoli software in questa ricerca, per poi sviscerare in seguito i ruoli e le caratteristiche dei singoli programmi.

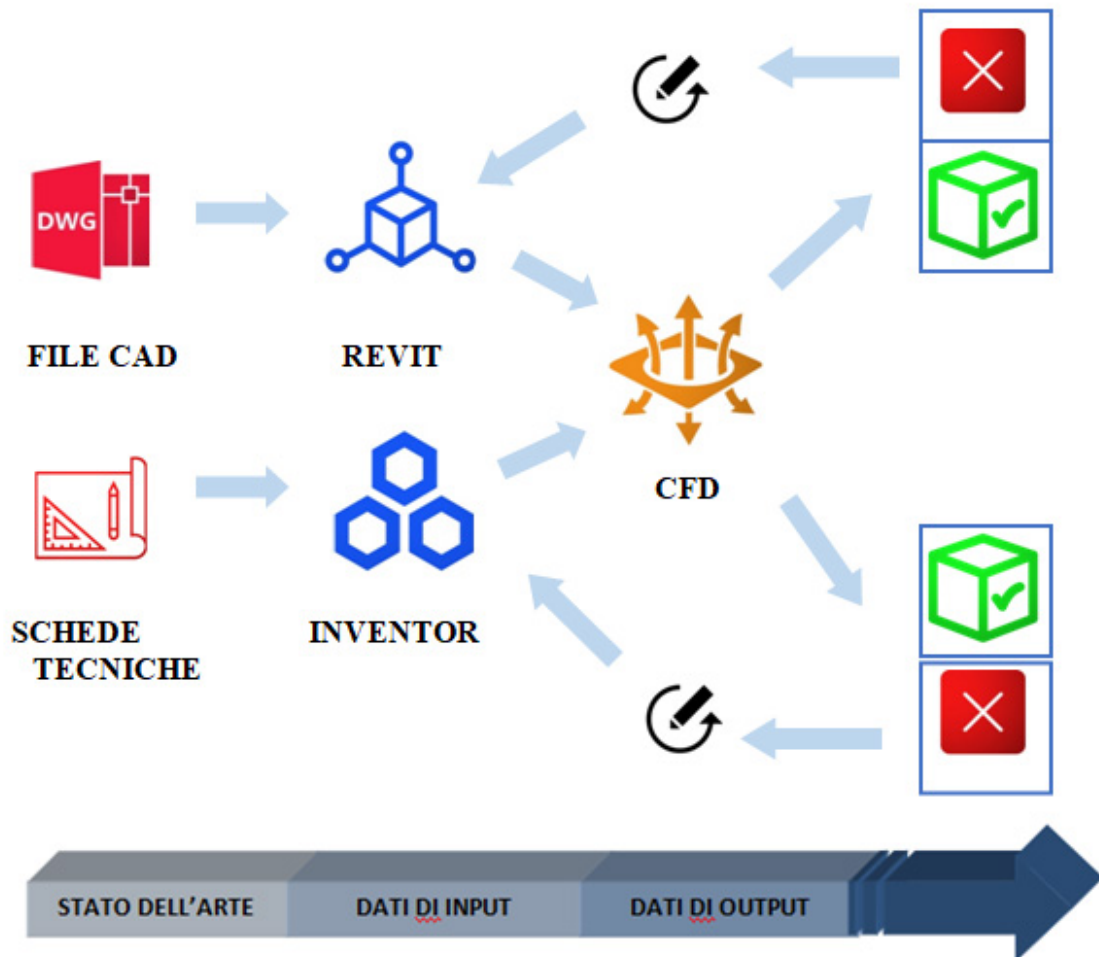


Figura 9: Schema metodologia utilizzata all'interno della ricerca.

Verrà ora fornita una legenda relativa alla simbologia utilizzata nello schema in figura 9, che sarà valida anche per i capitoli successivi:












SIMBOLI	DESCRIZIONE SIMBOLI
	FILE PROVENIENTI DA AUTODESK AUTOCAD
	SCHEDE TECNICHE
	SOFTWARE AUTODESK REVIT
	SOFTWARE AUTODESK INVENTOR
	SOFTWARE AUTODESK CFD SIMULATION
	REVISIONE E MODIFICA DEL MODELLO
	MODELLO VALIDATO
	MODELLO NON CORRETTO
COLORI	DESCRIZIONE COLORI
	SOURCE ELEMENTS / SOFTWARE
	TARGET SOFTWARE
	SIMULATION SOFTWARE

Figura 10: Legenda schema in figura 9

Nell'analizzare lo schema operativo sopra riportato, partiamo innanzitutto dalla linea temporale degli eventi evidenziata nella parte inferiore.

Risulta infatti evidente, come anche nell'ambito della tecnologia BIM, si segua la timeline tradizionale, ovvero si parte dall'acquisizione dei dati iniziali di progetto, si utilizzano le informazioni in possesso dell'utenza, ed infine attraverso le operazioni di modellazione e simulazione si ottengono i risultati finali che possono essere più o meno accettabili.

Per quanto concerne invece la struttura vera e propria dello schema utilizzato in questo lavoro, i passaggi sono stati i seguenti:

- Acquisizione del materiale iniziale di progetto, consistente in schede tecniche (relative ai dati di progettazione delle bocchette utilizzate nei due fabbricati di proprietà FCA) e in file in formato .dwg delle piante del sistema impiantistico del grattacielo Torre della Regione.
- Trasformazione dei dati iniziali in dati in formato diverso, ovvero in formato .rvt (file di modellazione architettonica MEP del software Autodesk Revit) per quanto riguarda la distribuzione impiantistica, ed in formato .ipt (file di modellazione meccanica del software Autodesk Inventor) relativamente alle schede tecniche delle bocchette di ventilazione dei fabbricati di proprietà FCA.
- Esportazione dei dati riportati al punto precedente, nel software di simulazione energetica computazionale Autodesk CFD tramite plug-in dai programmi Autodesk Revit ed Autodesk Inventor.
- Acquisizione del modello importato in caso di risposta positiva del programma in merito all'interoperabilità tra i vari software considerati oppure impossibilità di acquisizione da parte di Autodesk CFD in merito a modelli di partenza ritenuti non validi dal simulatore.
- Modifica e semplificazione dei modelli non accettati dal programma Autodesk CFD e ri-esportazione dei nuovi modelli nel software (questo passaggio è stato iterativo sino ad una perfetta compatibilità del modello nei differenti software).
- Ottenimento modello energetico accettabile ed analisi dei risultati ottenuti.

2.3 PROCESSO DI SCAMBIO DI INFORMAZIONI ED INTEROPERABILITÀ

Di seguito verrà fornita la linea di pensiero che si è seguita nell'utilizzo dei vari software BIM all'interno di questo lavoro.

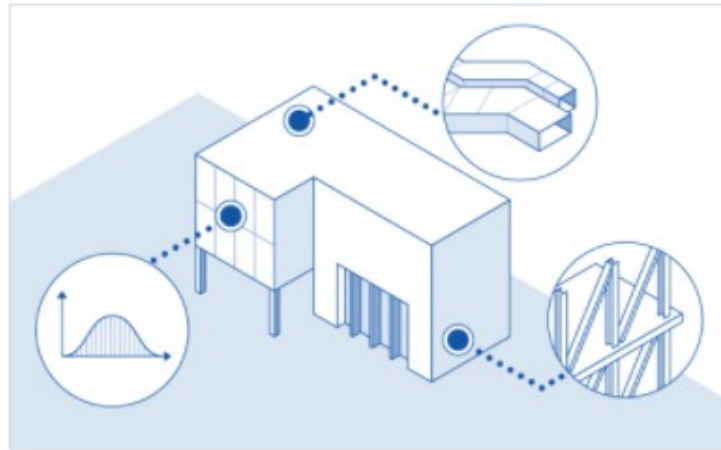
In particolare verranno dapprima schematicamente messi in relazione i singoli software, con la descrizione delle caratteristiche e delle metodologie operative che si sono scelte nello sviluppo del corrente lavoro, e successivamente la loro capacità di cooperare fra utenze diverse o in una singola utenza, caratteristica alla base del concetto stesso di Building Information Modelling.

2.3.1 INTRODUZIONE AD AUTODESK REVIT

La definizione del software Autodesk Revit ci viene fornita direttamente dal sito della software house Autodesk, riportiamo per tanto quanto descritto sul sito: "autodesk.it": *“Revit è un software per BIM (inglese). I suoi potenti strumenti vi consentono di utilizzare l'intelligente processo basato su modelli per pianificare, progettare, costruire e gestire edifici e infrastrutture. Revit supporta un processo di progettazione multidisciplinare per la progettazione collaborativa.”*(autodesk.it, 2017)¹⁰.

Di seguito verranno fornite delle immagine esemplificative relative alle modalità operative seguite nel flusso di lavoro BIM attraverso l'utilizzo del software Autodesk Revit, mettendo in luce gli aspetti significativi dei concetti di interoperabilità fra software diversi e di collaborazione fra professionisti appartenenti ad ambiti differenti, o comunque utilizzatori di software complementari.

¹⁰ Per una definizione completa del software Autodesk Revit, fare riferimento al sito sopra riportato della software house Autodesk ed in particolare la sezione relativa al prodotto Revit: <https://www.autodesk.it/products/revit-family/overview>



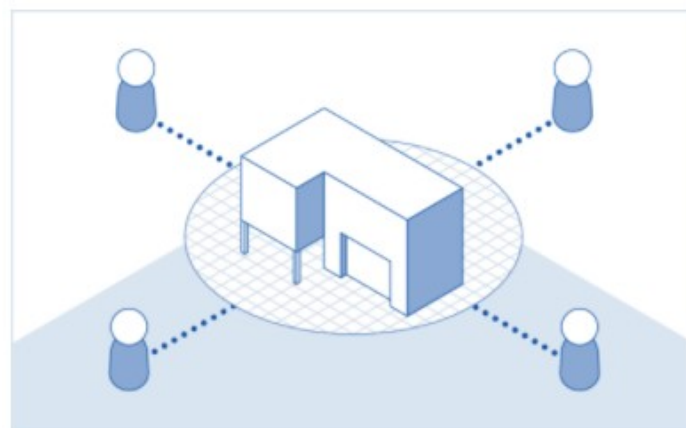
Progettazione

Figura 11: Fase operativa di progettazione (autodesk.it, 2017).

La prima parte del lavoro con questo software consiste nella creazione di modelli operativi di progetto, con caratteristiche dettagliate sulla base dell'obiettivo della progettazione.

Nel nostro caso specifico l'attenzione è stata focalizzata sull'area MEP di progettazione impiantistica, pertanto ci riferiremo a questo caso specifico di modellazione, tralasciando le ben più note modellazioni architettoniche e strutturali.

Occorre però precisare che nel passaggio che verrà definito di seguito, ovvero quello della collaborazione, anche la modellazione architettonica e strutturale (pre-esistente), sarà comunque importante anche se non nucleo centrale della ricerca.



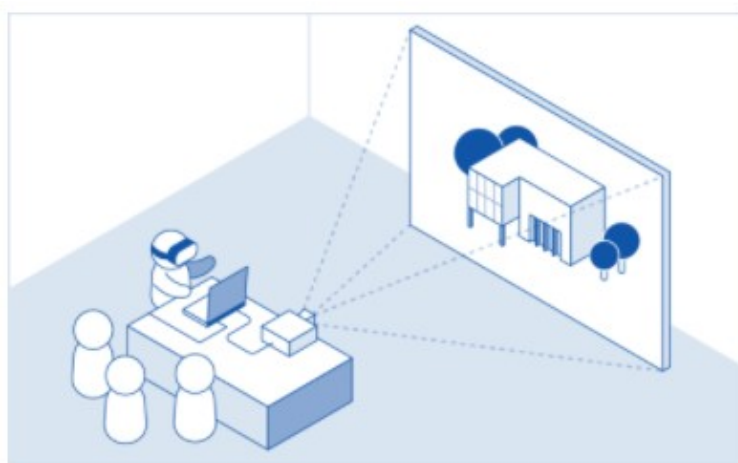
Collaborazione

Figura 12: Fase operativa di collaborazione (autodesk.it, 2017).

La fase operativa corrente risulta essere forse la parte più importante ed identificativa del processo di Building Information Modelling, obiettivo principale del workflow è infatti la creazione di un modello che sia fruibile sia da utenze diverse in qualsiasi momento, sia dalla stessa utenza attraverso l'esportazione in software compatibili.

Data la centralità di questa fase, verrà trattata in una sezione dedicata la modalità seguita nella creazione di un modello locale sulla base di più modelli centrali e locali già esistenti.

In questa sezione ci limiteremo quindi ad analizzare le varie fasi del processo BIM per quanto concerne il software Autodesk Revit, e successivamente verrà dato spazio a tali modalità operative.



Visualizzate

Figura 13: Fase operativa di visualizzazione (autodesk.it, 2017).

La fase finale è rappresentata dalle modalità di visualizzazione del modello, che risulta essere fondamentale per una chiara comprensione delle informazioni da parte di tutti i collaboratori al modello e dalle utenze esterne che fruiscono del progetto.

La rappresentazione 3D risulta essere quindi di forte impatto e contemporaneamente fonte di dati utilizzabili da software ed utenze diverse.¹¹

¹¹ Per maggiori informazioni visitare il sito: "<https://www.autodesk.it/products/revit-family/overview>", consultato il 18/02/2018 alle ore 11.30.

2.3.2 MODALITÀ OPERATIVA DA FILE CENTRALE O FILE LOCALE NELLA COLLABORAZIONE FRA FILE DIVERSI (AUTODESK REVIT)

Come anticipato nella sezione precedente, verrà ora definito il processo seguito nella creazione di un file locale definitivo da esportare poi successivamente nel software di simulazione fluidodinamica.

Non saranno enunciati i contenuti di tali file, in quanto verrà dedicato un capitolo apposito, ma verrà solamente descritta la linea seguita nella creazione di suddetto file.

Per rendere più immediato tale procedimento verrà prima fornito uno schema esemplificativo che verrà poi snocciolato immediatamente dopo.

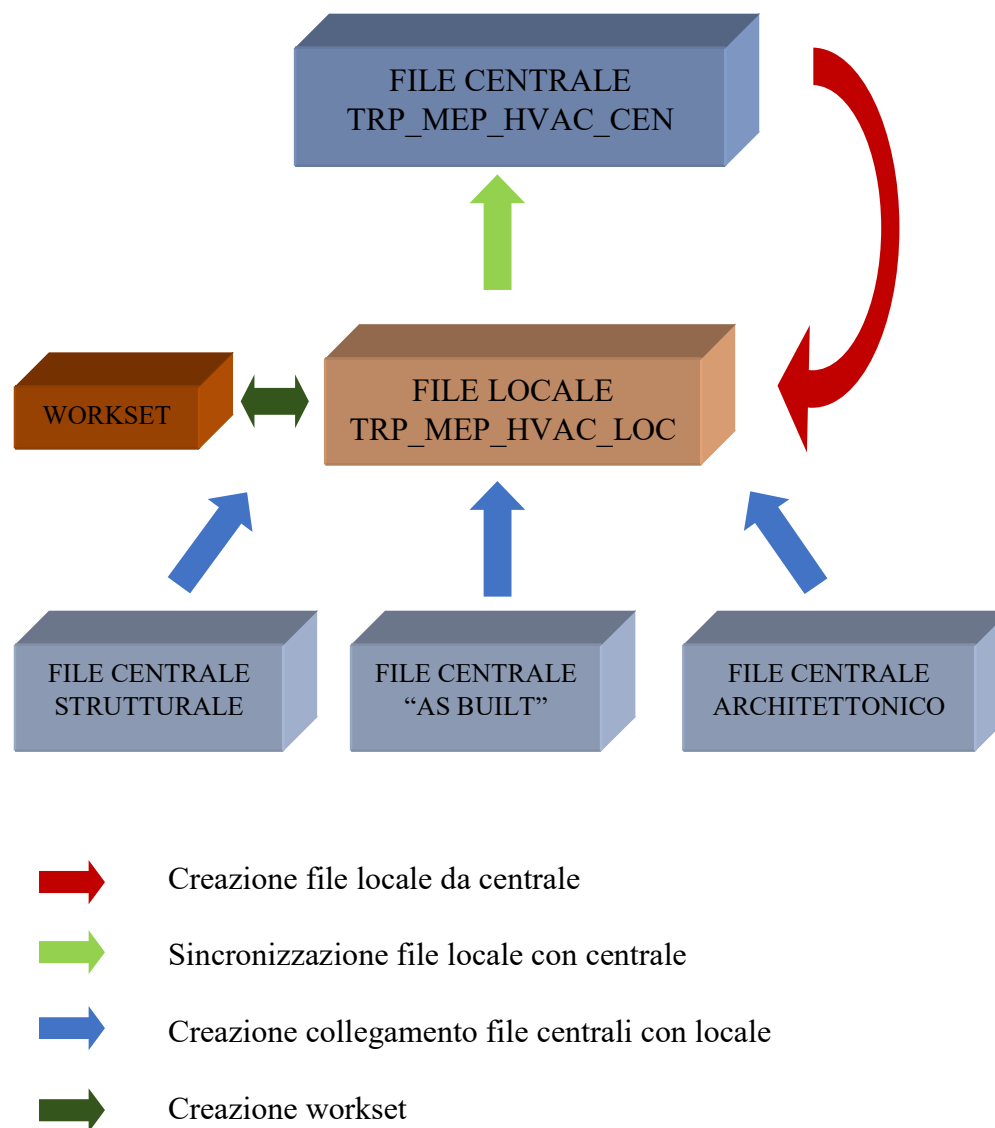


Figura 14: Schema rappresentativo la collaborazione tra file centrale e locali.

Lo schema precedente riassume il flusso di operazione effettuate per creare un file locale adatto alla successiva simulazione energetica ed ora analizzeremo punto per punto i vari passaggi evidenziati sopra.

- Fase 1: ottenimento di un modello centrale iniziale in cui erano già presenti parte delle informazioni poi utilizzate nel nuovo file locale, in particolare alcuni piani del grattacielo Torre della Regione erano già caratterizzati dalla presenza dell'impianto di distribuzione dell'aria di ventilazione.
- Fase 2: creazione a partire dal modello centrale di un file locale da utilizzare per la creazione del modello di impianto di distribuzione dell'aria di ventilazione per il piano tipo che si è deciso di considerare per la successiva simulazione, ossia il trentesimo.
- Fase 3: creazione di un nuovo workset relativo a tutte le operazioni svolte all'interno del nuovo file locale.
- Fase 4: creazione di collegamenti con i file Revit centrali già esistenti in merito a struttura, architettura e "As built". Da sottolineare il fatto che ogni volta che si effettua una modifica in uno dei suddetti file, è necessario ricaricarli nel file locale per ottenere le modifiche aggiornate anche nel file locale del modello.
- Fase 5: dopo aver creato i collegamenti o "link" con i file centrali di origini diversi, si è potuto generare il modello nel file locale di riferimento con l'utilizzo del workset creato nel punto 3.
- Fase 6: ultimata la creazione del modello impiantistico MEP nel file locale, è necessario sincronizzare il file locale con il corrispettivo file centrale, in modo che tutte le modifiche effettuate nel locale, siano riscontrabili anche nel centrale.

Risulta evidente il fatto che questi passaggi riportati in ordine di successione temporale, sono in realtà processi iterativi, che sono stati quindi ripetuti fino all'ottenimento di un modello locale, e di conseguenza un centrale, accettabile agli scopi di simulazione energetica, previa esportazione senza rigetto nel software di simulazione fluidodinamica.

L'analisi di questo procedimento iterativo risulta fondamentale per la comprensione del concetto di interoperabilità fra i software, è quindi di centrale importanza sottolineare l'obiettivo ultimo dell'intero workflow.

La creazione di un modello locale adatto alle esigenze relative allo scopo prefissato, non elimina informazioni al modello centrale di utilizzato da molteplici utenze con obiettivi differenti, ma al contrario aggiunge informazioni ad un modello esistente.

Tali informazioni, potranno essere poi, in seguito alla sincronizzazione con il modello centrale, essere utilizzati da tutte le altre utenze, oppure ignorate in caso di appesantimento eccessivo del file per gli scopi prefissati.

Si è ritenuto necessario porre l'attenzione sin da questo momento, sulla centralità del concetto di interoperabilità del modello e sulla completa fruibilità della totalità delle informazioni da parte di un bacino eterogeneo di utenze, in quanto aspetto cardine della tecnologia di Building Information Modelling e differenze radicale rispetto a quelle passate.

È infatti auspicabile che un modello simile, possa essere oggetto di future migliorie, o comunque fonte di informazioni importanti per successivi sviluppi.

Dopo aver introdotto il software di modellazione Autodesk Revit, utilizzato nel progetto relativo al grattacielo Torre della Regione Piemonte, ed aver sottolineato il carattere di interoperabilità che lo connota, la sezione successiva sarà dedicata al software che ha rappresentato il punto iniziale per lo svolgimento della simulazione energetica delle bocchette di ventilazione degli altri fabbricati considerati in questo lavoro, le due fabbriche di proprietà FCA, ossia Autodesk Inventor.

2.3.3 INTRODUZIONE AD AUTODESK INVENTOR

Autodesk Inventor rappresenta un software di progettazione e modellazione meccanica, utilizzato soprattutto in ambito industriale per prodotti in scala 1:1, risulta pertanto evidente come esso possa essere integrato nel processo di Building Information Modelling grazie alla precisione nella modellazione.

L'utilizzo che ha caratterizzato questo lavoro, è quello relativo al disegno 3D delle bocchette di ventilazione dei fabbricati di proprietà FCA, nella creazione di un modello al tempo stesso molto fedele a quello reale ed in grado di essere esportato all'interno del software di simulazione computerizzata Autodesk CFD.

È pertanto evidente il duplice ruolo di tale programma all'interno del nostro percorso: si è infatti optato per l'utilizzo di Autodesk Inventor sia per l'elevata precisione nelle geometrie, sia per verificare la compatibilità e l'interoperabilità del software con gli altri utilizzati all'interno della ricerca BIM.

In questa sezione verrà proposto un breve workflow sull'utilizzo del programma, non evidenziato nel capitolo precedente, in quanto la modellazione BIM su Autodesk Revit (sebbene in nel nostro caso studio relativo all'ambito MEP e non architettonico o strutturale), è molto più diffusa e quindi conosciuta tra i professionisti.

Di seguito saranno quindi presenti una breve introduzione al programma, ed una spiegazione sul processo di utilizzo e sui vari comandi dello stesso.

2.3.4 MODELLAZIONE SU AUTODESK INVENTOR

La schermata iniziale, è rappresentata da un interfaccia tipico dei programmi della software house Autodesk, in cui viene richiesta l'apertura di un file esistente oppure l'inizio di un nuovo progetto, con l'apertura quindi di un nuovo file.

E' consigliata l'opzione di default.

Se si è già utilizzato il programma in precedenza, verranno inoltre visualizzati in anteprima i file .ipt aperti recentemente.

Si può inoltre notare la presenza del plug in di Autodesk 360, software di condivisione di file della stessa software house .

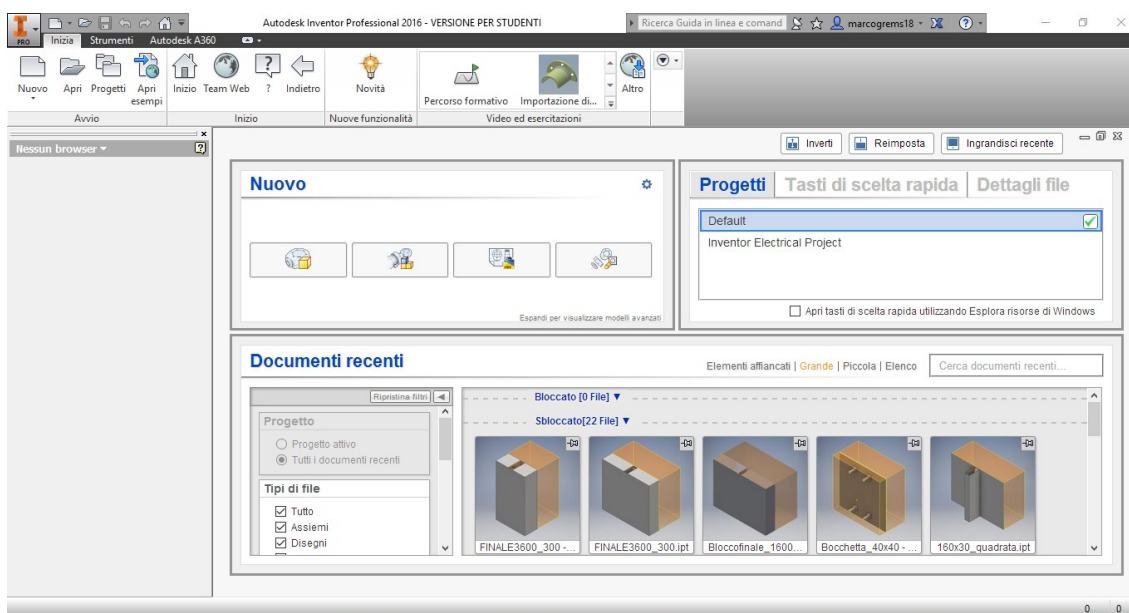


Figura 15: Schermata iniziale di avvio del programma Autodesk Inventor.

Nel nostro caso, sceglieremo di creare un nuovo file.

Una volta aperta la cartella Templates, verrà richiesta prima la parte, l'assieme oppure il disegno che si vuole modellare, nel nostro caso sceglieremo sempre l'opzione Standard (mm).

Tale scelta implica l'utilizzo di unità di misura, nel nostro caso metrica mm e del materiale, nel nostro caso generico.

A questo punto verrà visualizzato lo spazio modello in cui andremo appunto a modellare la parte in considerazione.

L'interfaccia risulta molto simile a quella di programmi simili, come il più noto Autodesk Revit, in cui i menù principali sono:

- Modello 3D
- Schizzo
- Analizza
- Strumenti
- Gestione
- Vista
- Ambienti
- BIM
- Inizia
- Autodesk A360
- Simulation

Ognuno di essi, ha ovviamente numerosi opzioni che non andremo ad analizzare per rendere più fluida la disamina.

Autodesk Inventor è essenzialmente fondato sul disegno in 2D, nominato “Schizzo”, e sull’estrusione di tale schizzo, precedentemente rappresentato.

L’immagine successiva rappresenta infatti la triade di piani cartesiani fondamentali su cui agire, rappresentata da Piano orizzontale (PO), Piano verticale (PV), e Piano laterale (PL).

Una volta scelto il piano su cui si desidera iniziare il disegno 2D, si passa ad una schermata corrispondente al piano scelto, con un’interfaccia molto simile a quella di Autodesk Autocad.

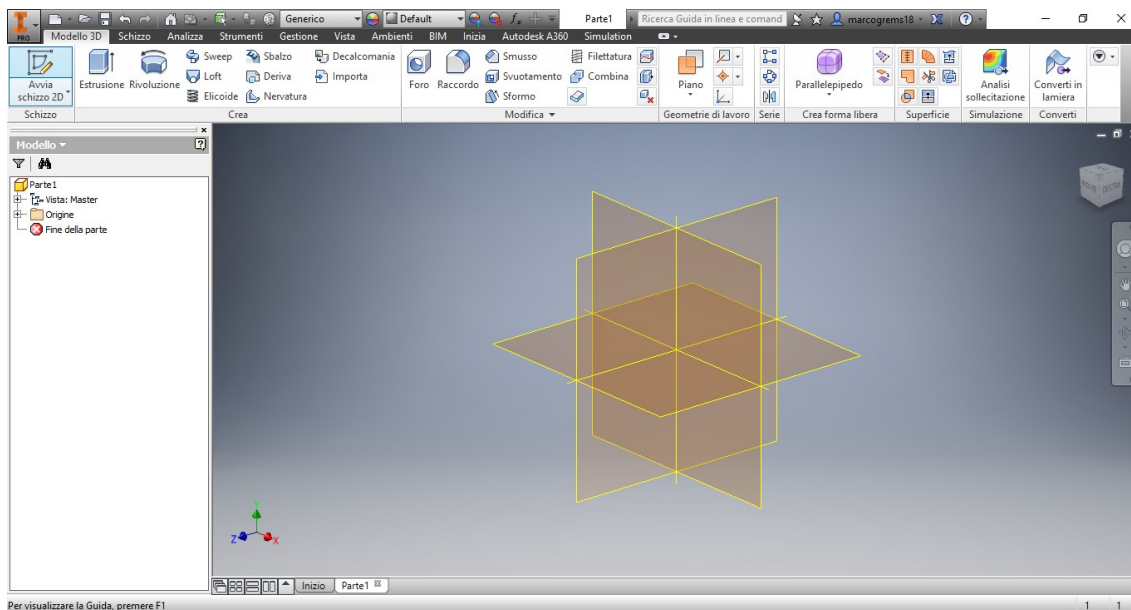


Figura 16: Schermata iniziale di avvio schizzo in 2D con scelta del piano di riferimento.

Una volta confermato il disegno in 2D o schizzo, automaticamente si tornerà ad una vista tridimensionale, dalla quale sarà possibile iniziare l'estrusione.

Le immagini successive rappresentano infatti lo sviluppo in estrusione di due cerchi concentrici a formare una corona cilindrica, poi unita attraverso una superficie di loft con un parallelepipedo cavo, precedentemente costruito.

Occorre precisare che le figure geometriche prese in considerazione, hanno uno scopo esclusivamente didattico, infatti non verranno riproposte all'interno della tesi, in cui i protagonisti della modellazione risultano essere le varie tipologie di bocchette e di impianti di distribuzione dell'aria di ventilazione-aspirazione dei due fabbricati industriali.

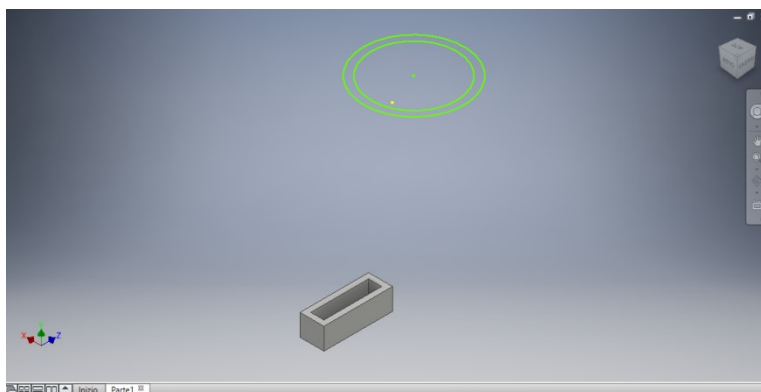


Figura 17: Schermata di area modello di Autodesk Inventor con passaggio da schizzo a modello 3D.

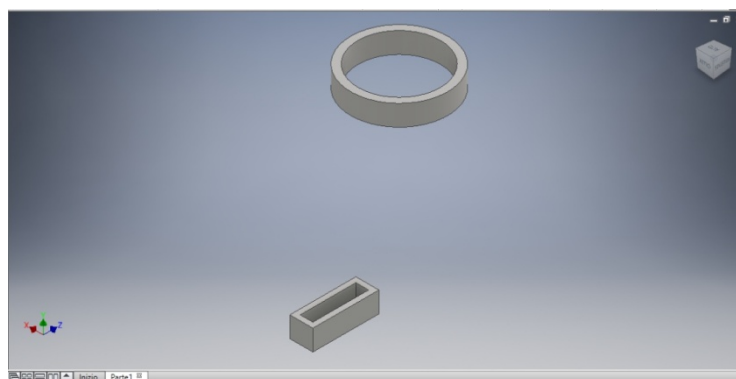


Figura 18: Schermata di area modello di Autodesk Inventor con estrusione di schizzo 2D.

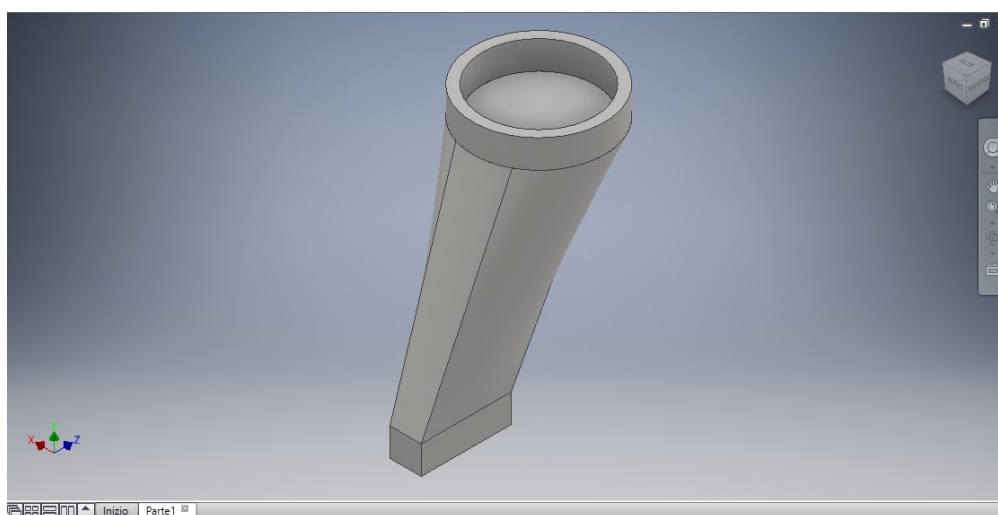


Figura 19: Esecuzione di superficie di loft a collegare due corpi distinti.

L'ultima immagine rappresenta un'operazione di intersezione fra solidi, in cui attraverso la sottrazione, si opera uno svuotamento del solido tridimensionale.

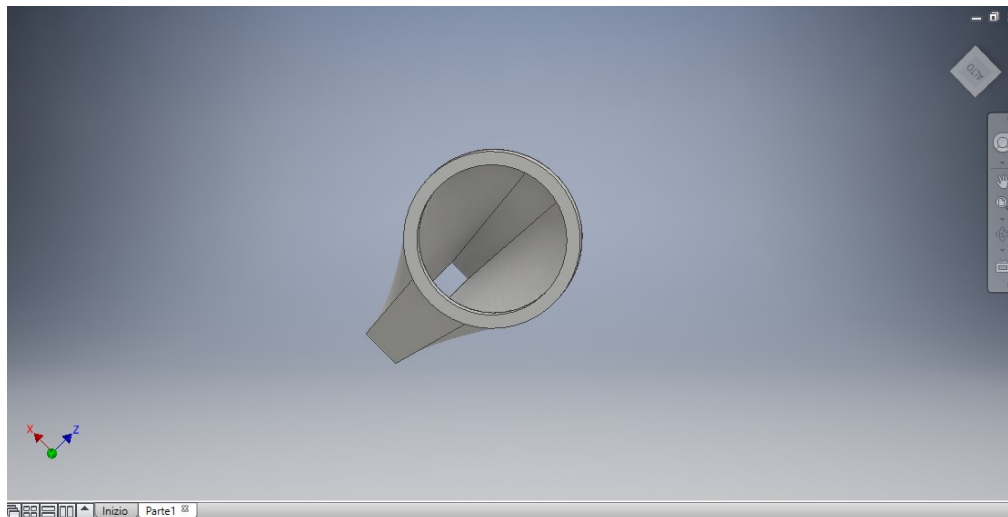


Figura 20: Esecuzione di operazione di intersezione e sottrazione di solidi in modello 3D.

In questa breve presentazione del programma, si è voluto sommariamente mettere in luce le principali operazioni che sono state utilizzate per la modellazione delle bocchette di aspirazione, di cui quindi non verranno mostrati i passaggi che hanno portato al modello finale, ma solamente il risultato ultimo.

2.3.4 INTRODUZIONE AD AUTODESK CFD

Così come è avvenuto in precedenza per Autodesk Inventor, verrà ora fornito un breve workflow sull'utilizzo di Autodesk CFD che ne descrive principalmente le azioni utilizzate per affrontare le varie simulazioni energetiche delle bocchette antecedentemente modellate.

Anche in questo caso, verranno presentate delle schermate tipo di Autodesk CFD, da quella iniziale, alla schermata di simulazione avvenuta.

Come anticipato, la funzione principale di Autodesk CFD è la simulazione energetica di un ambiente, una porzione di ambiente, o di un singolo oggetto, all'interno di un intorno che può essere precedentemente costruito ad hoc, oppure successivamente inserito, una volta importato il modello di riferimento.

In questo tutorial, verranno presentate entrambe le soluzioni, va però sottolineato il fatto, che nel nostro caso, si è sempre utilizzato un volume pre-generato nel modello di Autodesk Inventor, sia per ottenere una maggiore precisione dimensionale rispetto appunto alle dimensioni effettive del locale, sia per una maggiore rapidità di risposta del programma.

In merito a questo ultimo punto, verrà poi dedicato un capitolo a parte, in cui verranno scandagliate le problematiche legate all'interoperabilità fra software della stessa casa editrice, nell'ottica di una miglioria generale dei programmi stessi.

2.3.5 MODELLAZIONE SU AUTODESK CFD



Figura 21: Schermata di avvio di nuovo studio di progettazione.

L'immagine precedente, si riferisce all'avvio di un nuovo studio di progettazione, nel nostro lavoro però, si è sempre fatto riferimento a modelli precedentemente ottenuti tramite Autodesk Inventor in due differenti modalità:

- Attraverso un plug in direttamente dal modello di Autodesk Inventor .ipt.
- Attraverso la schermata di cui sopra, selezionando come modello, quello precedentemente creato con altri software Autodesk.

Per dovere di cronaca verrà ora fornita una immagine del plug-in da Autodesk Inventor, anche se nella maggior parte dei casi, si è prima aperto il programma Autodesk CFD, per poi importare successivamente il modello generato in precedenza.

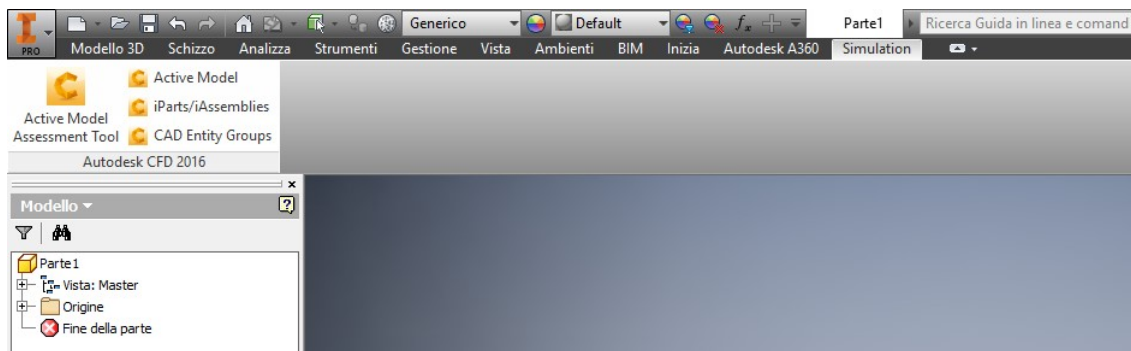


Figura 22: Schermata relativa al plug-in presente in Autodesk Inventor nella sezione “Simulation”.

Di seguito verranno fornite le varie schermate relative alla sezione “Imposta”, in cui vengono inserite tutte le decisioni a priori relative ai dati iniziali di progetto, in particolare avremo:

- Strumenti geometrici
- Materiali
- Condizioni di contorno
- Condizioni iniziali
- Dimensionamento mesh
- Movimento
- Risolvi

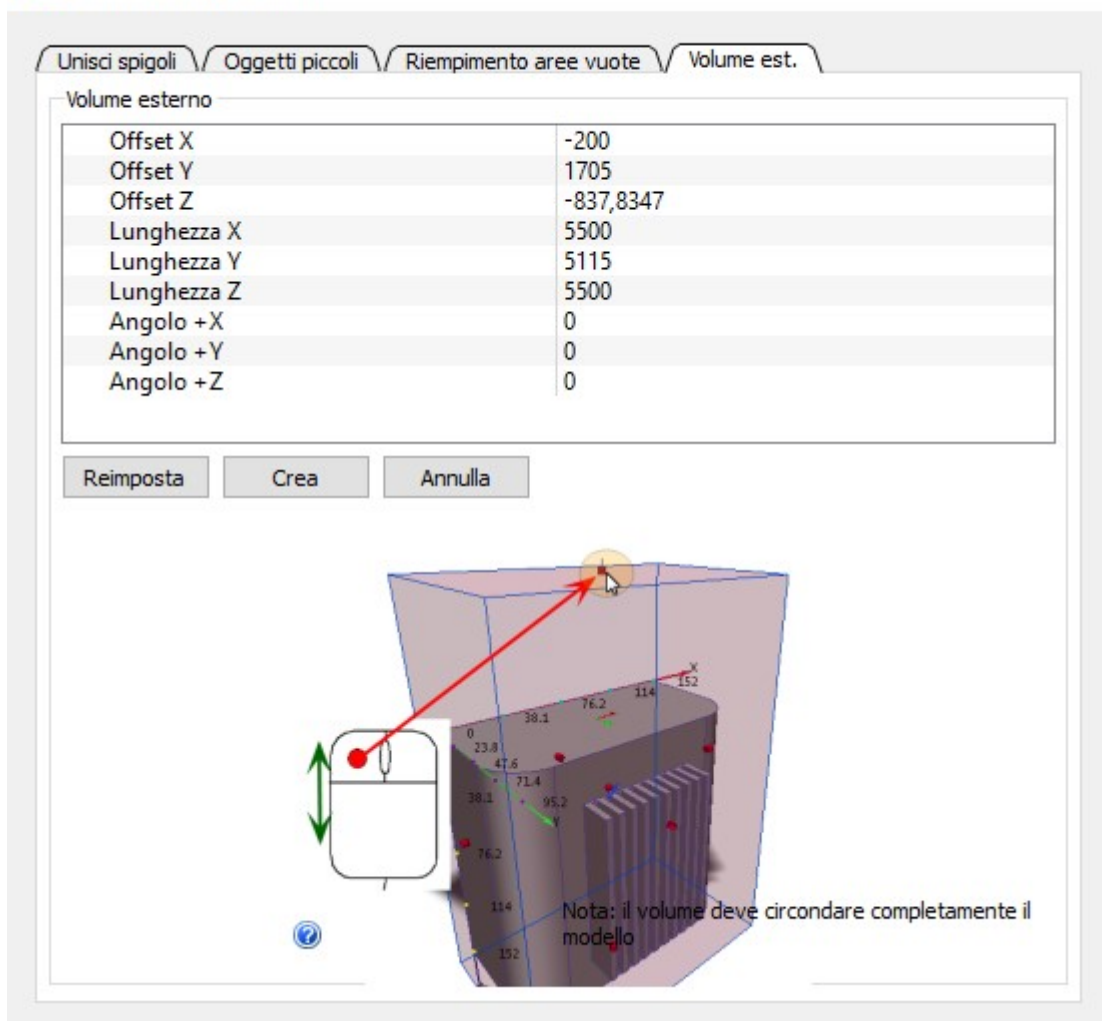


Figura 23: Schermata di visualizzazione strumenti geometrici, in particolare viene evidenziata la possibilità di inserire un volume di controllo, anche dopo aver importato il modello.

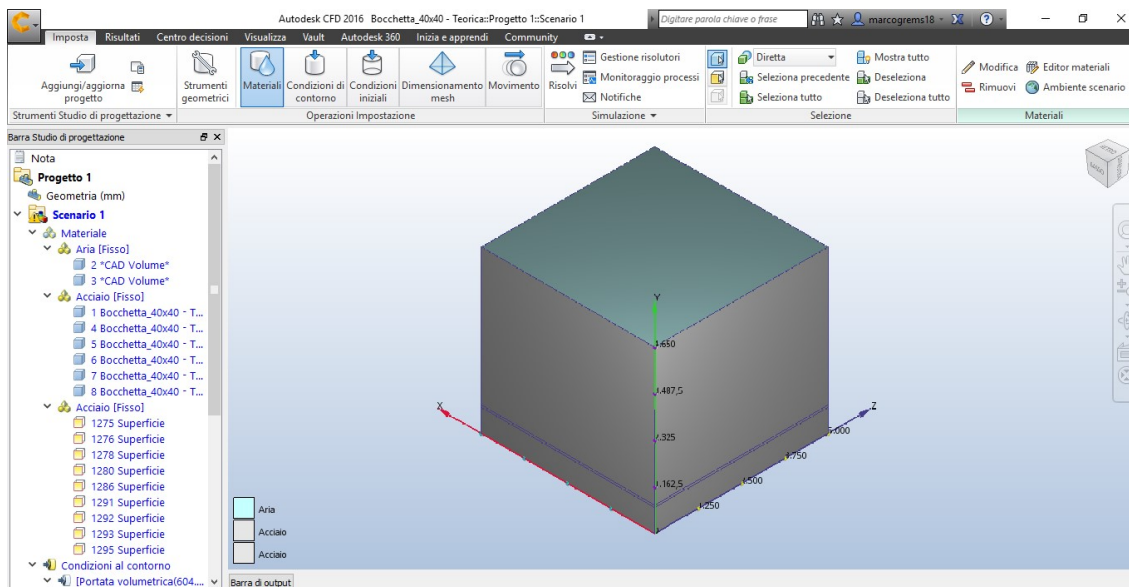


Figura 24: Schermata di visualizzazione materiali.

Come si evince da questa immagine, in questa sezione è possibile associare ad ogni superficie o volume un determinato materiale.

Va infatti sottolineata la perdita dell'informazione relativa al materiale nel passaggio dal modello .ipt di Autodesk Inventor, al modello di Autodesk CFD.

Risulta quindi fondamentale attribuire a ciascuna superficie o volume il materiale corretto, in modo da ottenere una simulazione teorica il più vicino possibile a quella reale.

Una volta inseriti i materiali voluti, sulla sinistra avremo una schermata di ricapitolazione in cui ad ogni superficie e volume risulta assegnato il corrispondente materiale selezionato in fase di inserimento dati.

Nell'esempio proposto, e di fatto poi anche nelle effettive simulazioni che verranno proposte in seguito, i materiali utilizzati sono essenzialmente:

- Acciaio, per tutta la componentistica relativa a bocchette, cavedi e griglie di aerazione.
- Aria, per i volumi non occupati da materiale allo stato della materia solido.

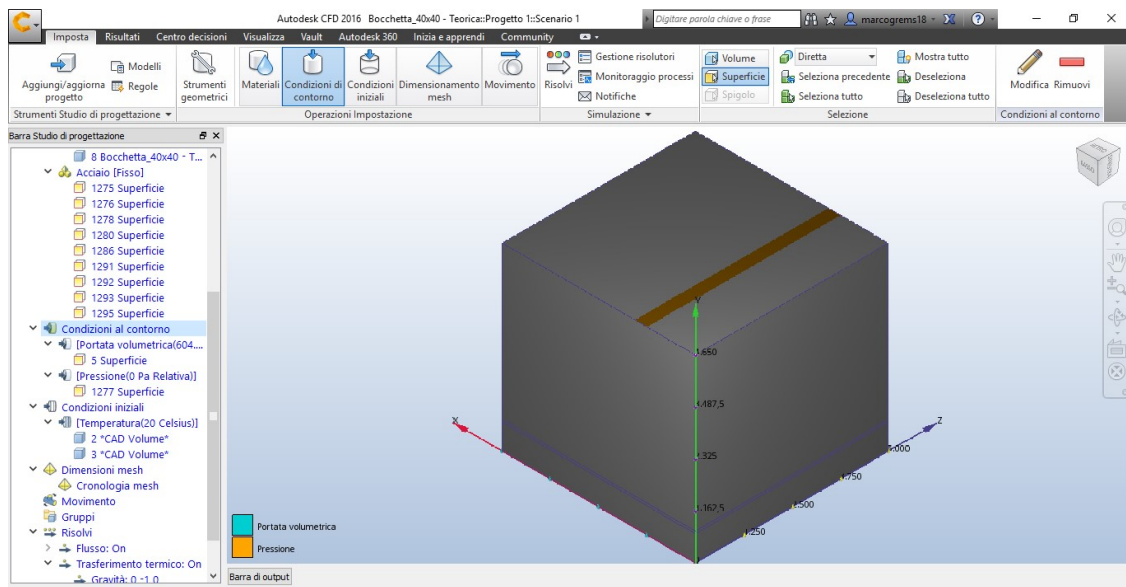


Figura 25: Schermata di impostazioni condizioni di contorno del modello.

L'immagine precedente rappresenta l'impostazione delle condizioni di contorno da applicare al modello precostituito.

Di volta in volta, nelle varie simulazioni, verranno specificate le condizioni applicate.

In linea generale possiamo riassumere le grandezze fisiche prese in considerazione in questo modo:

- Velocità
- Velocità rotazionale
- Pressione
- Temperatura
- Umidità
- Portata volumetrica
- Portata massica
- Scorrimento/Simmetria
- Sconosciuto
- Scalare

Per ogni grandezza fisica scelta andrà poi specificato il tempo:

- Stazionario
- Transitorio

Infine come l'ultima opzione richiederà la scelta fra grandezza fisica.

- Relativa
- Assoluta

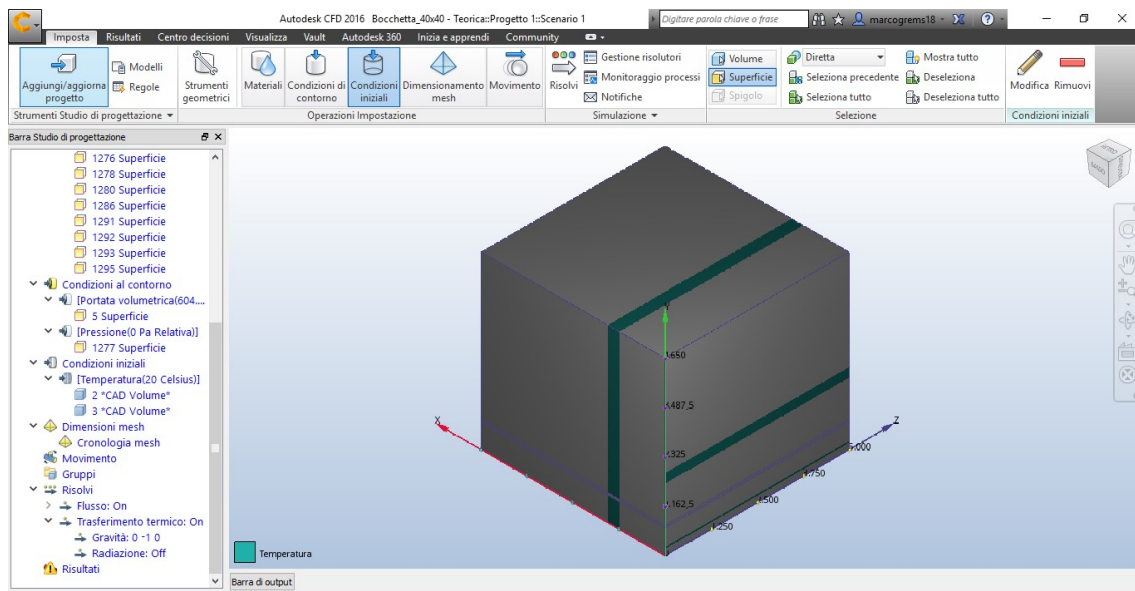


Figura 26: Schermata di configurazione condizioni iniziali.

Oltre alle già citate condizioni di contorno, andranno poi specificate le condizioni iniziali del modello che si sta considerando.

Nel nostro caso, l'unica condizione che si è imposta, è stata quella della temperatura interna del locale, pari a 20°C, ovvero la temperatura interna di progetto in condizioni invernali.

Verrà comunque fornita la lista delle grandezza fisiche responsabili delle condizioni iniziali di progetto:

- Velocità
- Pressione
- Temperatura
- Umidità
- Scalare qualità

Anche nel caso delle condizioni iniziali, esistono ulteriori opzioni da inserire, di cui sottolineiamo la possibilità di invertire il verso della intensità di velocità, caso che riguarda da vicino il nostro progetto.

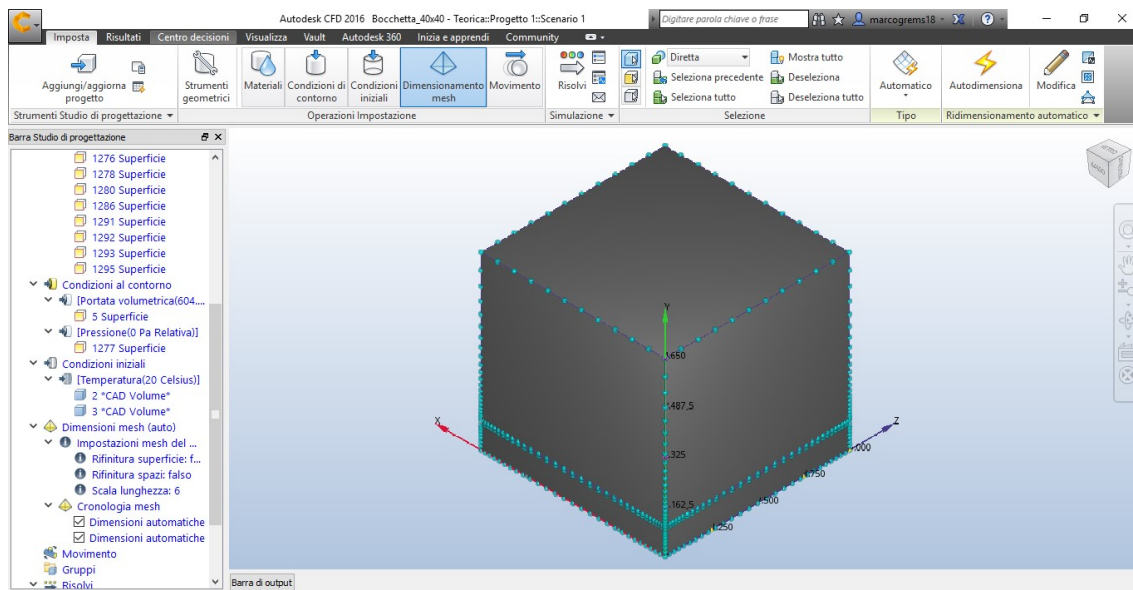


Figura 27: Schermata di dimensionamento mesh in Autodesk CFD.

Il passo immediatamente successivo alle impostazioni delle condizioni iniziali, è il dimensionamento delle mesh.

Di seguito verrà fornita la definizione di dimensionamento mesh tratta direttamente dal sito di supporto: “<http://help.autodesk.com>.”

“Prima di eseguire un'analisi di Autodesk Simulation CFD, la geometria viene suddivisa in piccoli pezzi denominati elementi. L'angolo di ciascun elemento è un nodo. Il calcolo viene eseguito in corrispondenza dei nodi. Questi elementi e nodi costituiscono la mesh.

Nei modelli tridimensionali, la maggior parte degli elementi sono tetraedrici: un elemento a quattro lati a faccia triangolare. Nei modelli bidimensionali, la maggior parte degli elementi sono triangoli.” (help.autodesk.com)

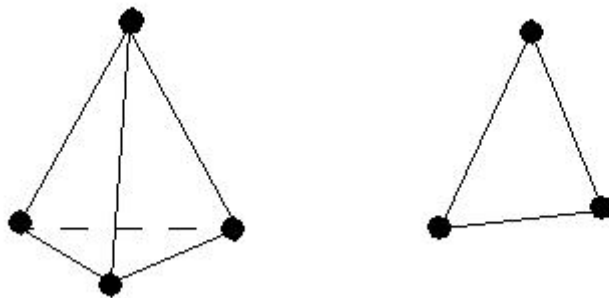


Figura 28: Rappresentazione concettuale mesh (help.autodesk.com, 2017).

Per quanto riguarda i vantaggi relativi al dimensionamento mesh, ci affidiamo in anche in questo caso, a quanto riportato nel sito di riferimento: “help.autodesk.com”, che ci fornisce le seguenti informazioni:

“Autodesk Simulation CFD esegue un'interrogazione topologica completa della geometria dell'analisi della e stabilisce la dimensione e la distribuzione della mesh su ogni spigolo, superficie e volume del modello. Gli elementi come la curvatura geometrica, i gradienti e la vicinanza alla geometria adiacente vengono presi in considerazione per assegnare le dimensioni degli elementi e le distribuzioni mesh.

- *Attraverso la semplificazione dei modelli dell'analisi di impostazione è possibile ridurre il tempo impiegato per l'assegnazione delle dimensioni mesh.*
- *Distribuzioni mesh più efficienti: in base alle esigenze, la mesh sarà più o meno definita in diversi punti del modello.*
- *Aumento della precisione della soluzione grazie al miglioramento della qualità e delle transizioni mesh.*
- *Aumento dell'efficacia della soluzione: con transizioni mesh di qualità è possibile sviluppare un modello matematico efficiente.*
- *Ciò non dipende dalla modalità di selezione (volume, superficie o spigolo) attiva al momento di fare clic su questo pulsante.*
- *Anche se si tratta di un processo veloce, con modelli di oltre 3000 spigoli può richiedere persino diversi minuti.*

Il tema delle mesh, è risultato di primaria importanza nella gestione delle simulazioni, infatti in molti casi trattati, è stata necessaria una semplificazione della geometria del modello a priori, ovvero in fase di modellazione su Autodesk Inventor, per agevolare l'iter di simulazione su Autodesk CFD.

Occorre sottolineare che nella maggioranza dei casi è stato utilizzato un auto dimensionamento delle mesh, e non il dimensionamento manuale, che probabilmente avrebbe favorito una risposta più rapida alla problematica della riduzione a mesh delle superfici circolari o areole circolari, che si sono rivelate la fonte principale del malfunzionamento del programma.

E' quindi auspicabile per il futuro, sempre in merito al discorso di partenza, e chiave di volta di tutto il lavoro, ovvero l'interoperabilità fra i software, una gestione manuale più semplice delle mesh, o quantomeno una risposta più efficace del programma relativamente a geometrie curve, come appunto quelle in cui ci si è imbattuti.”¹²

¹² Come avvenuto in precedenza, per eventuali delucidazioni sul concetto di mesh, e sull'utilizzo ed i vantaggi delle stesse all'interno della modellazione BIM, ed in particolare nel programma di simulazione Autodesk CFD, consigliamo di fare riferimento al sito di supporto considerato in questa analisi, ovvero: “help.autodesk.com”

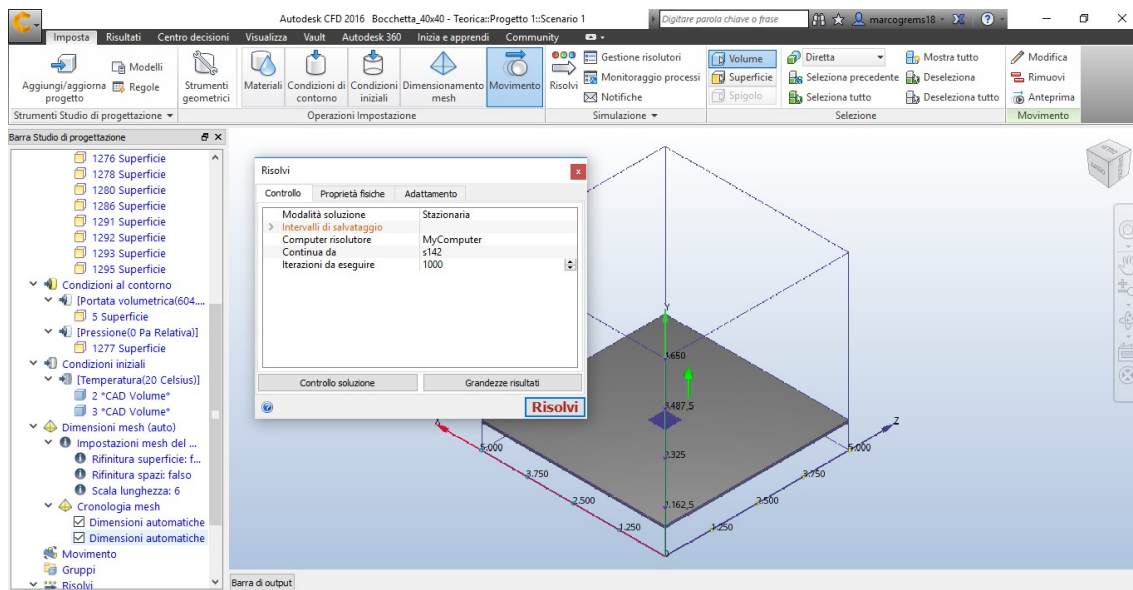


Figura 29: Schema di avvio alla risoluzione del modello energetico.

L'ultimo passo a livello di impostazioni preliminari è quello dell'avvio della risoluzione del modello energetico con i dati precedentemente inseriti.

In questa fase verrà richiesta la modalità di soluzione:

- Stazionaria
- Dinamica

La tipologia di computer risolutore:

- Il computer dove si sta eseguendo l'analisi
- In cloud

La continuazione dell'analisi:

- Dall'inizio
- Dall'ultima iterazione interrotta

Il numero di iterazioni da eseguire.

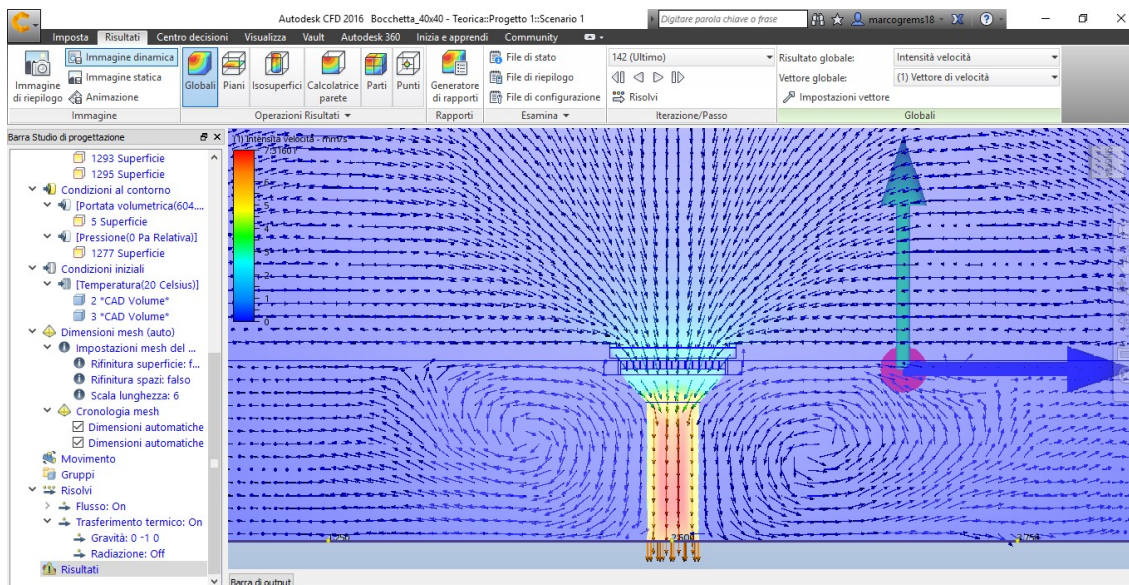


Figura 30: Esempio di schermata di risultati post-simulazione.

Dopo l'ultima iterazione della simulazione energetica, con il conseguente raggiungimento della convergenza, il programma offrirà i risultati, che possono essere visualizzati con differenti modalità:

- Globali
- Piani
- Isosuperfici
- Calcolatrice parete
- Parti
- Punti

3 IL MODELLO BIM: DALLO STATO DI FATTO ALLA PROGETTAZIONE

Nel seguente capitolo verrà trattata la prima delle due fasi principali di cui si è discusso all'inizio della relazione, ovvero il passaggio dallo stato di fatto e dell'arte, consistente nel materiale già esistente sia in formato cartaceo, sia digitale, alla progettazione tramite software vera e propria.

Verranno singolarmente trattati i due macro casi considerati, dapprima quindi il percorso che ha portato alla modellazione impiantistica MEP del piano trentesimo del grattacielo Torre della Regione Piemonte, ed in seconda battuta il processo che ha condotto alla modellazione delle singole bocchette e dei gruppi di bocchette dei due fabbricati industriali di proprietà FCA.

Si riporta la frazione di schema operativo già evidenziato in precedenza, ponendo l'attenzione sulla fase di interesse sopra descritta.

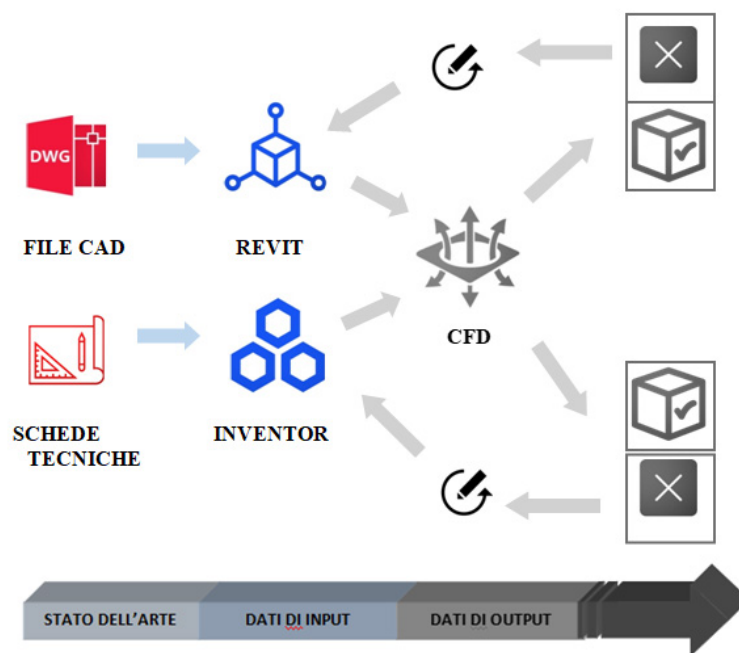


Figura 31: Schema riassuntivo del procedimento.

Come si evince dalla porzione di schema sopra riportato, inizieremo con l'analisi dei documenti iniziali allo stato dell'arte per poi spiegare nel dettaglio il processo che ha portato alla definizione di un modello impiegabile successivamente per la simulazione fluidodinamica.

3.1 CASO TORRE DELLA REGIONE PIEMONTE

Il primo caso studio affrontato è stato, come già anticipato in precedenza, quello del grattacielo Torre della Regione Piemonte.

Verranno ora descritte, dapprima le fonti iniziali ottenute (in questo caso in formato digitale), successivamente la modellazione vera e propria dell'impianto di distribuzione dell'aria con spiegazione dell'iter seguito nella condivisione dei file provenienti da sorgenti diversi.

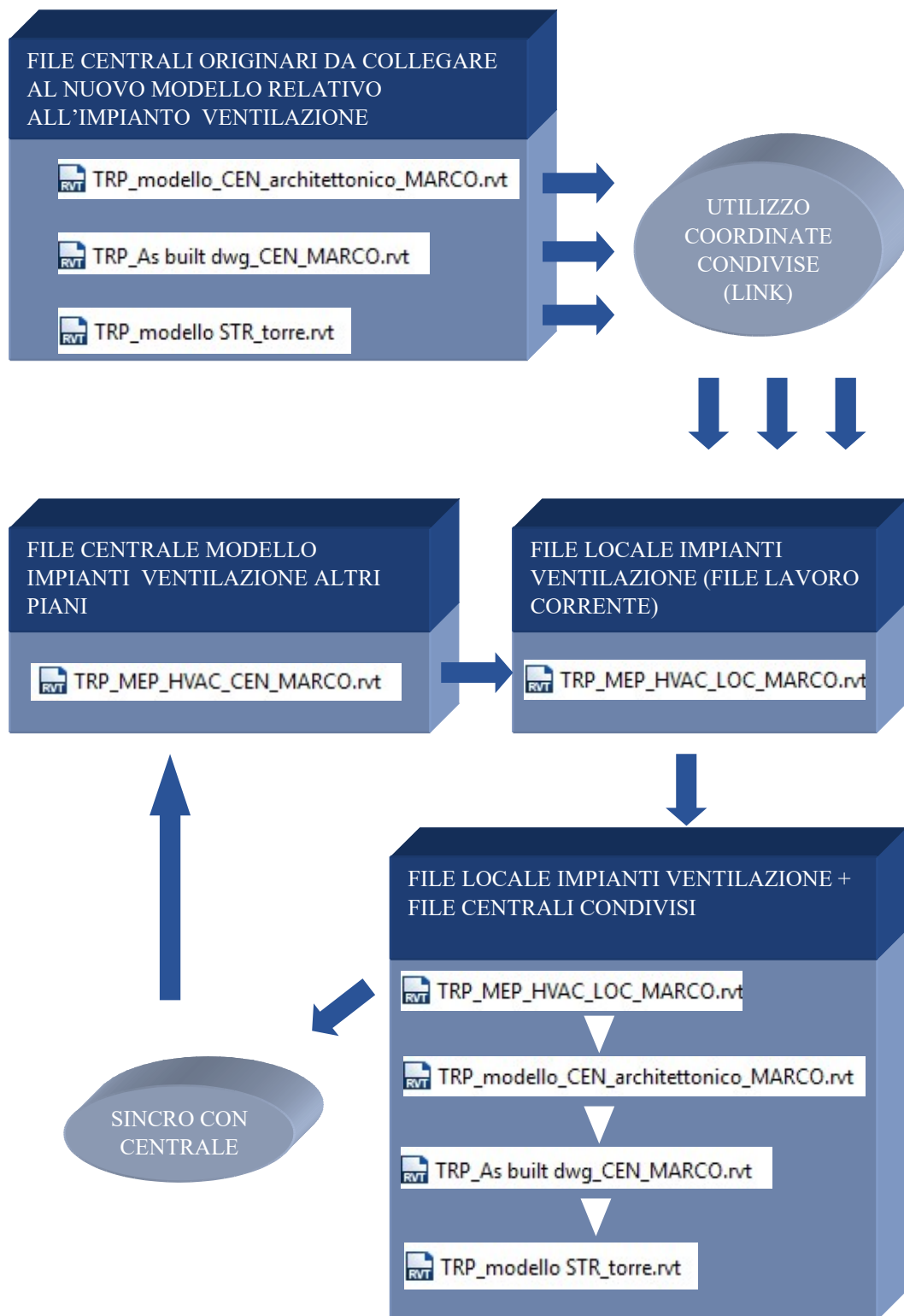
3.1.1. STATO DELL'ARTE, DOCUMENTI INIZIALI E PROCEDURA DI CONDIVISIONE FILE E DATI

Come anticipato nei capitoli precedenti, i file iniziali ottenuti possono essenzialmente essere considerati dei modelli centrali in formato .rvt ovvero file ottenuti tramite modellazione architettonica e strutturale attraverso il software Autodesk Revit, a cui si affiancano anche disegni bidimensionali in formato .cad ottenuti attraverso il software Autodesk Autocad.

Verrà ora fornito uno schema esemplificativo, poi descritto nel dettaglio, in cui si pone in evidenza il concetto di interoperabilità fra i vari file, provenienti sia da utenze differenti, sia da software di progettazioni diversi.

Anche in questo caso, l'obiettivo fondamentale risulta essere quello di testare l'interoperabilità (utilizzando file provenienti da fonti diverse per quanto concerne il grattacielo della Regione), oltre a creare un modello fruibile per operazioni successive e con scopi diversi, dallo studio architettonico, allo strutturale, oppure quello energetico come nel lavoro corrente.

Nello schema ora presentato si è scelto di inserire direttamente il nome dei file utilizzati in modo da avvicinare il più possibile la forma mentis seguita, occorre però precisare che il modus operandi adottato è adattabile a qualsiasi tipo di file caratterizzato dalla stessa tipologia di formato, a sottolineare ancora una volta la versatilità della tecnologia BIM, seppur non priva di problematiche e quindi migliorabile, come si vedrà al termine dell'analisi della metodologia seguita.



Lo schema sopra riportato necessita di una spiegazione più dettagliata, in quanto elemento cardine all'interno della tecnologia BIM e della ricerca intorno all'interoperabilità che si è perseguita per tutto il corso del lavoro corrente.

Si è scelto di analizzare i vari passaggi suddetti, proponendo per ciascuno di essi i contenuti dei file originali prima e del di modellazione operativo dopo.

Il primo passo è stato quello di ottenere i file già esistenti relativi all'architettura, alla struttura e all' "As built" del grattacielo Torre della Regione Piemonte, file di cui appunto riporteremo alcune immagine significative per la realizzazione del modello finale. La prima immagine è relativa al file relativo al modello architettonico dell'edificio (si veda lo schema precedente).

Verrà data prima una visione d'insieme del progetto, per poi evidenziare il caso considerato, ovvero il piano trentesimo.

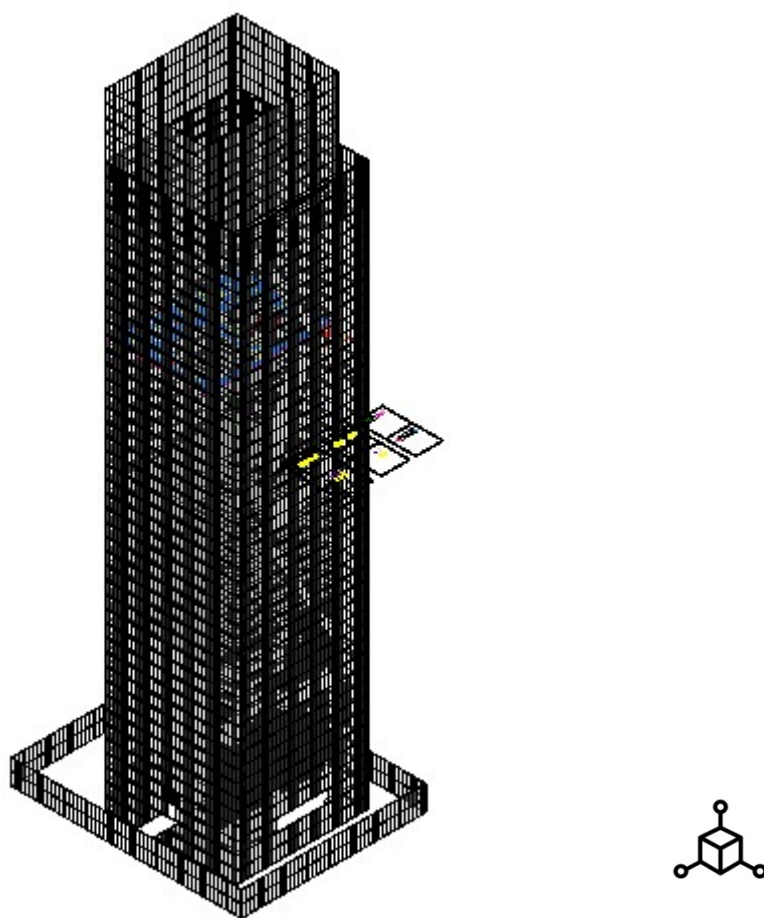


Figura 32: Architettura Torre della Regione Piemonte (visione d'insieme).

Come si può capire dalla figura 33, la complessità del modello architettonico è notevole, da ciò la necessità di considerare una porzione limitata dell'edificio, che nel nostro caso è coincisa con il piano trentesimo, considerato indicativo.

Forniamo pertanto ora un'immagine relativa all'architettura del singolo piano, in particolare una pianta del pavimento ed una del controsoffitto del piano trentesimo.

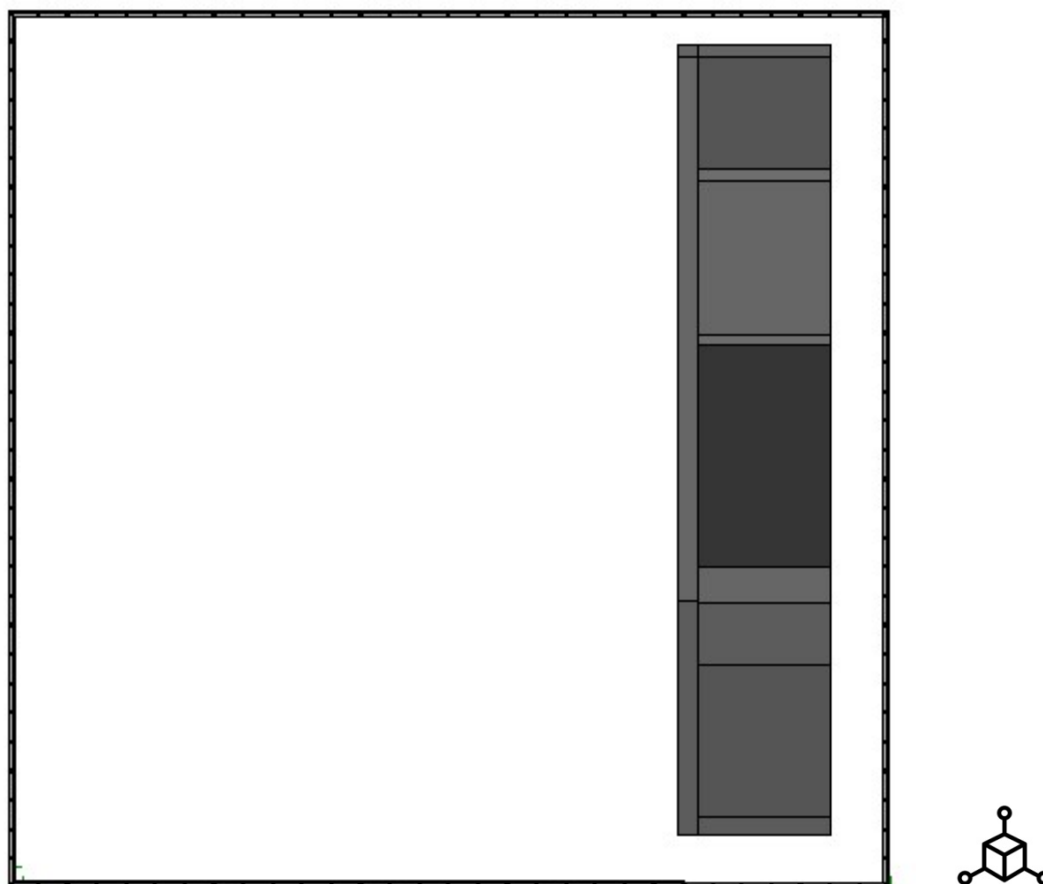


Figura 33: Pianta pavimento piano trentesimo (fuori scala).

Risulta evidente come in figura 34 non ci siano particolari dettagli sfruttabili nella modellazione impiantistica, al di là delle partizione e dell'involucro verticale, ma come si è anticipato, le singole fonti forniscono solo una porzione dei dati finalizzati alla creazione di un modello il più possibile. È quindi fondamentale sfruttare il maggior numero di file originali collegati in unico nuovo file per la definizione di tale modello.

In merito a quanto detto sopra, forniamo ora la pianta del controsoffitto che risulta senza dubbio maggiormente ricca di informazioni per la definizione di una corretta distribuzione orizzontale dell'impianto di ventilazione meccanica.

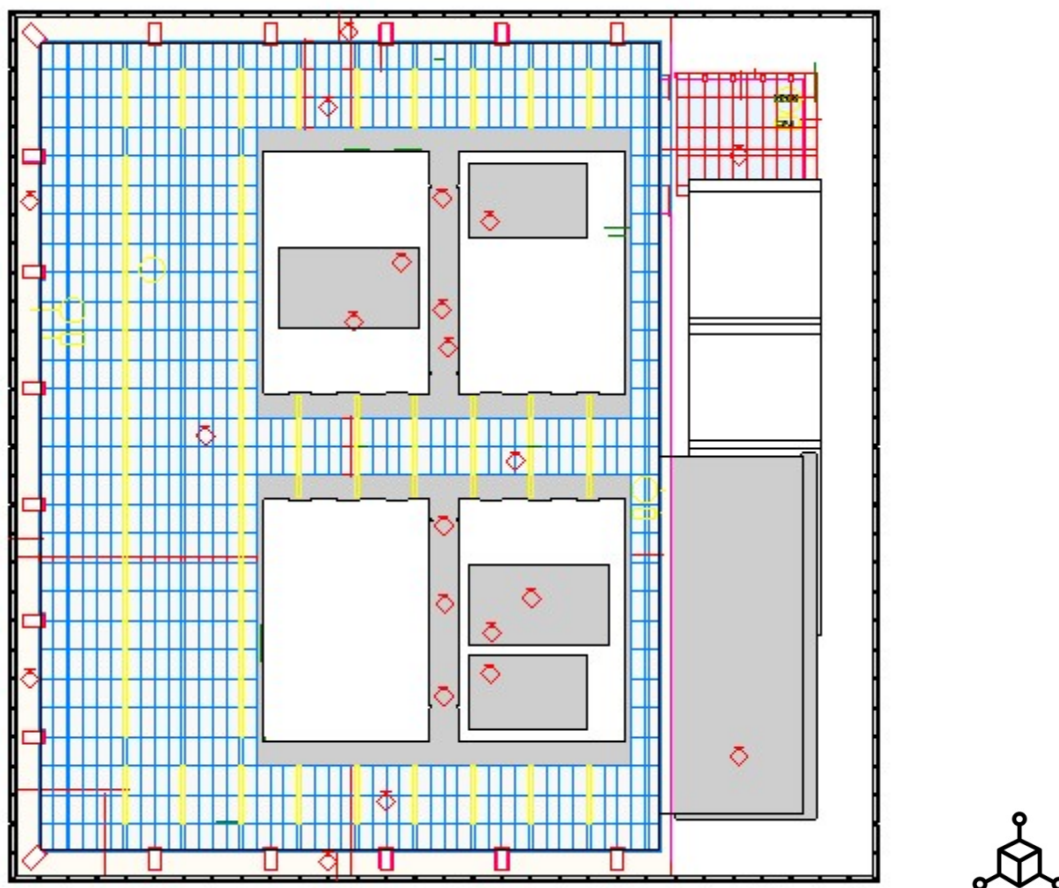


Figura 34: Pianta controsoffitti piano trentesimo (fuori scala).

Anche se più particolareggiata dell'immagine precedente, i dati in figura 35 non risultano ancora sufficienti, ecco allora la necessità del collegamento (o link), con un altro file fornitoci, ovvero quello relativo all' "As built", in cui è collegato un file in formato .dwg che presenta in maniera dettagliata la distribuzione impiantistica dell'aria di ventilazione.

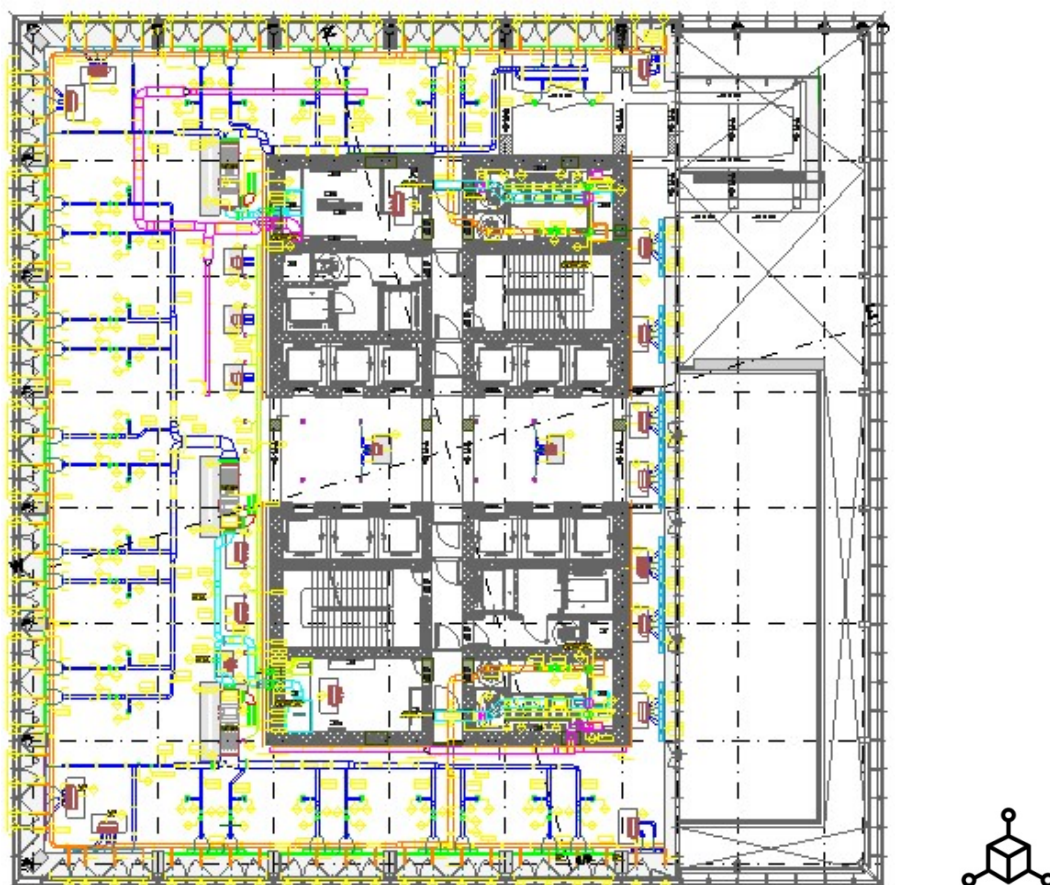


Figura 35: Pianta distribuzione impianti di ventilazione del piano trentesimo (fuori scala).

La figura 36 descrive in maniera approfondita la distribuzione dell'impianto di ventilazione del piano trentesimo, fornendo quindi tutte le informazioni ad essa relativa, dalle portate nominali alle intensità di velocità dell'aria, alla tipologia di sistema impiegato.

Per una corretta modellazione sono però necessari ancora i dati relativi alla struttura dell'edificio e del singolo piano, ecco allora l'obbligo di collegare un terzo file al modello locale di progettazione, appunto relativo all'impianto strutturale.

Similmente alla procedura adotta per i file precedenti, è stato quindi collegato il file centrale strutturale con le informazioni indicate dalla successiva immagine relative all'intero edificio ed al piano trentesimo.

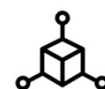


Figura 36: Modello strutturale 3D Torre della Regione Piemonte.

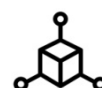
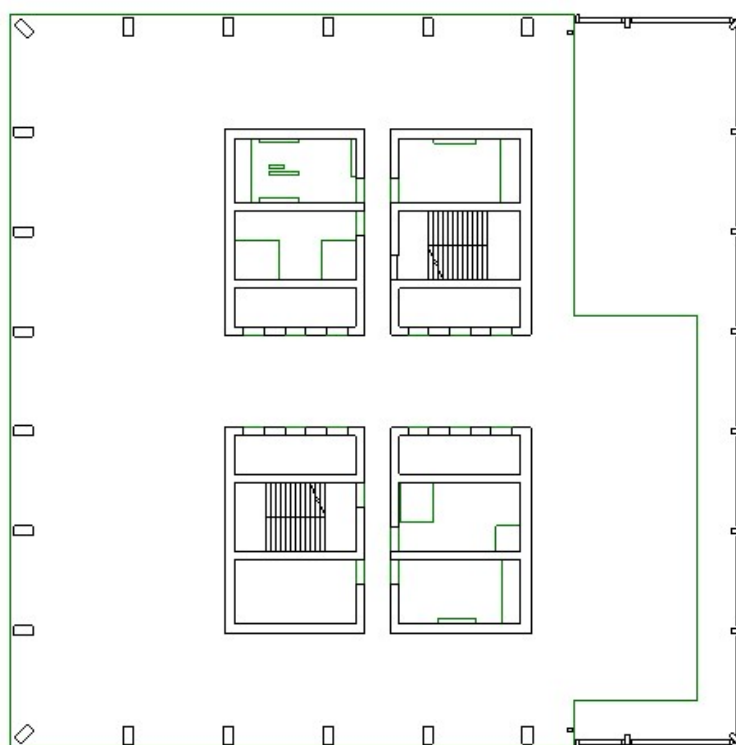


Figura 37: Pianta strutturale piano trentesimo (fuori scala).

Una volta ricevuti tutti i file originari di cui si è parlato finora, è stata necessaria l'operazione di condivisione dei file tramite collegamento (o link), ottenuta attraverso le coordinate condivise, in modo da ottenere un perfetto posizionamento dei vari file nel file modello degli impianti di ventilazione, fissando un punto topografico comune a tutti.

Passeremo quindi ora ad analizzare la modellazione vera e propria dell'impianto di distribuzione dell'aria di ventilazione al piano trentesimo, prima però verrà fornita un'immagine del file definitivo prima dell'inizio della progettazione MEP.¹³

¹³ Risulta a questo punto necessaria una precisazione: per gli scopi prefissati all'interno di questo lavoro e per non appesantire eccessivamente la tesi si è ritenuto necessario riportare solamente le immagini più significative relative ai vari modelli considerati.

È comunque importante sottolineare la presenza di una quantità di gran lunga superiore, di immagine relative ai modelli, che possono essere ottenute a partire dal file di progettazione, a cui pertanto è necessario fare riferimento in caso di maggiori informazioni oppure curiosità relative al modello Autodesk Revit.

3.1.2 LA MODELLAZIONE MEP

Sulla base del file ottenuto in seguito ai collegamenti degli altri file originari si è costruito il modello vero e proprio dell'impianto di distribuzione dell'aria di ventilazione meccanica del piano trentesimo del grattacielo Torre della Regione.

Non verranno riportati tutti i passaggi seguiti nella modellazione di tale impianto, ma verranno comunque messe in luce le varie tipologie di sistemi meccanici utilizzati nella rappresentazione dei condotti dell'aria e dei terminali di ventilazione, fornendo anche i dati quantitativi in merito alle grandezze fisiche intensità di velocità dell'aria e portata nominali delle parti dell'impianto che sono state pi successivamente utilizzate nella simulazione fluidodinamica.

Di seguito verranno presentate delle immagini renderizzate relative alla pianta e ad una visione assonometrica del controsoffitto del piano trentesimo, costruite sulla base delle informazioni ottenute dal metodo di collaborazione analizzato in precedenza.

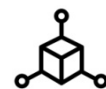
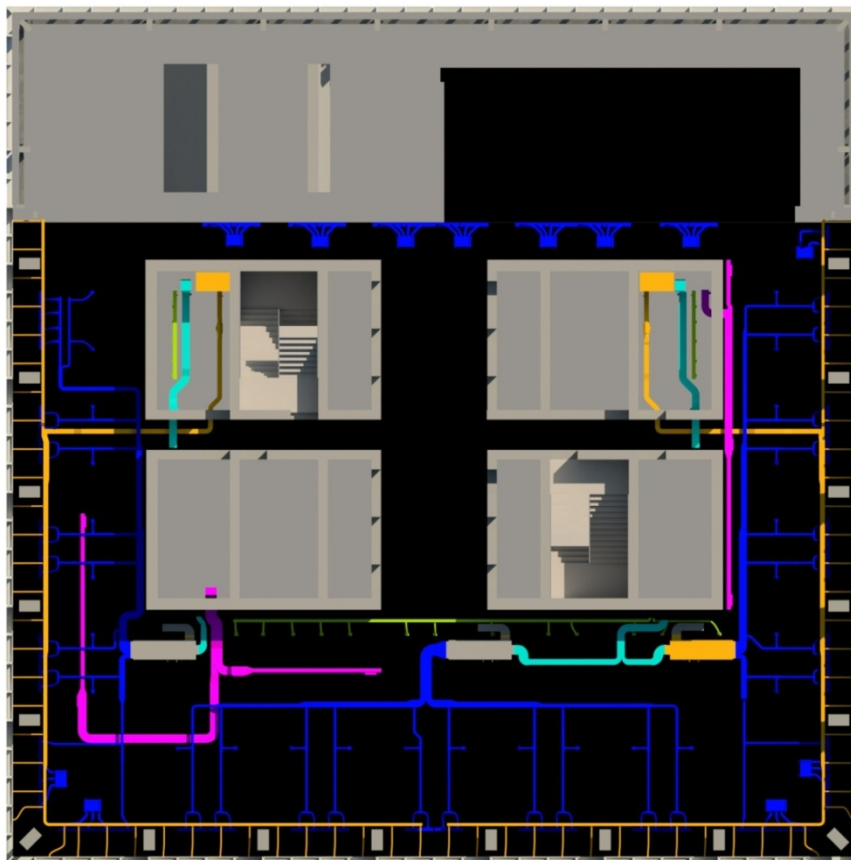


Figura 38: Pianta distribuzione impianti controsoffitto piano trentesimo.

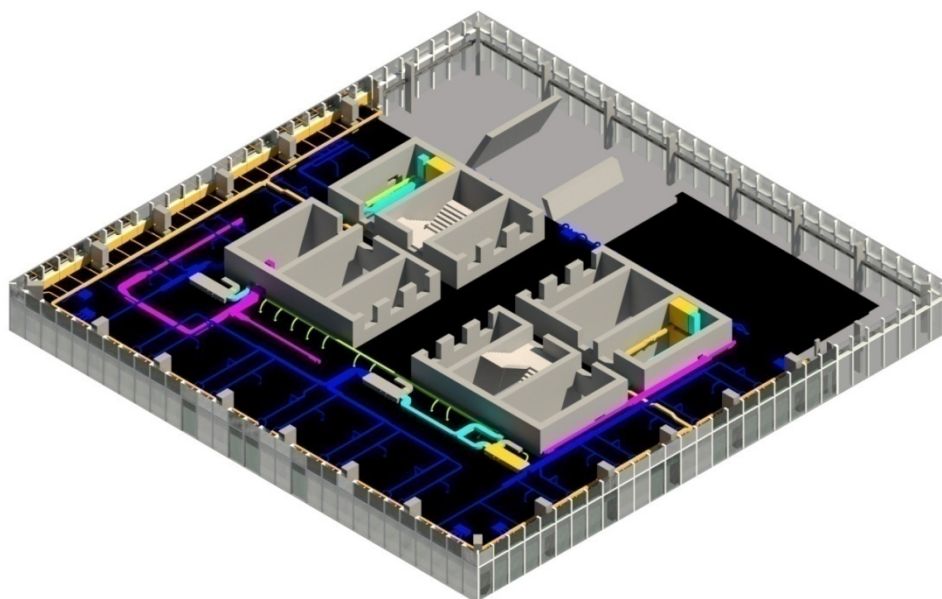
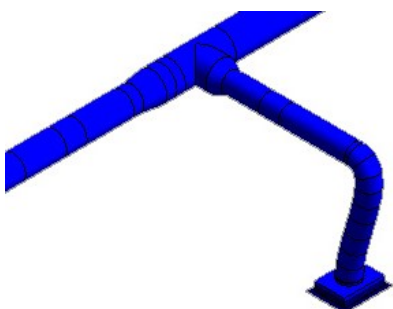


Figura 39: Assonometria impianto di distribuzione aria.

Verrà ora fornita una legenda in merito dalla tipologia di sistema delle varie tubazioni in funzione del colore rappresentato, con annessa immagine di una parte di impianto appartenente alla classe considerata e caratteristiche fisico-tecniche associate:

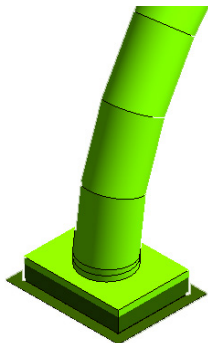
- La colorazione blu rappresenta il sistema aria di mandata.



CARATTERISTICHE FISICO-TECNICHE BOCCHETTA ARIA DI MANDATA
<ul style="list-style-type: none"> • PORTATA VOLUMETRICA NOMINALE: $80 \text{ m}^3/\text{h}$ • INTENSITÀ DI VELOCITÀ NOMINALE: $0,55 \text{ m/s}$

- PORTATA VOLUMETRICA
NOMINALE: $80 \text{ m}^3/\text{h}$
- INTENSITÀ DI VELOCITÀ
NOMINALE: $0,55 \text{ m/s}$

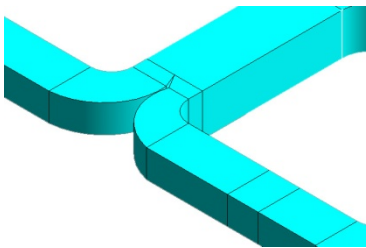
- La colorazione verde rappresenta il sistema di aspirazione aria wc fumatori.



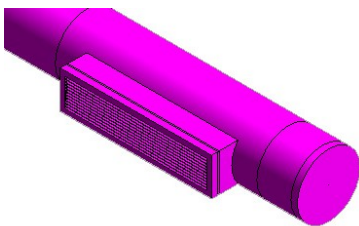
CARATTERISTICHE FISICO-TECNICHE BOCCHETTA DI ASPIRAZIONE FUMI
--

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • PORTATA VOLUMETRICA NOMINALE:
40 m³/h • INTENSITÀ DI VELOCITÀ NOMINALE:
0,275 m/s |
|---|

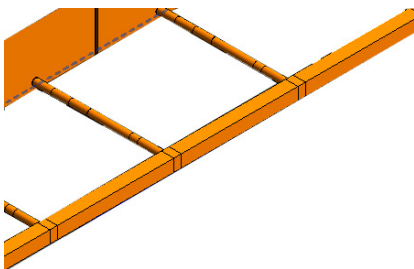
- La colorazione azzurra rappresenta il sistema di aria primaria di mandata.



- La colorazione viola rappresenta il sistema di estrazione fumi.



- La colorazione arancione rappresenta il sistema di ripresa dell'aria in facciata.



Forniamo ora delle immagini relative alla modellazione tramite il software Autodesk Revit, dell'impianto di distribuzione dell'aria del piano trentesimo del grattacielo Torre della Regione, anche in questo caso la colorazione degli impianti va associata alla descrizione presente in legenda.

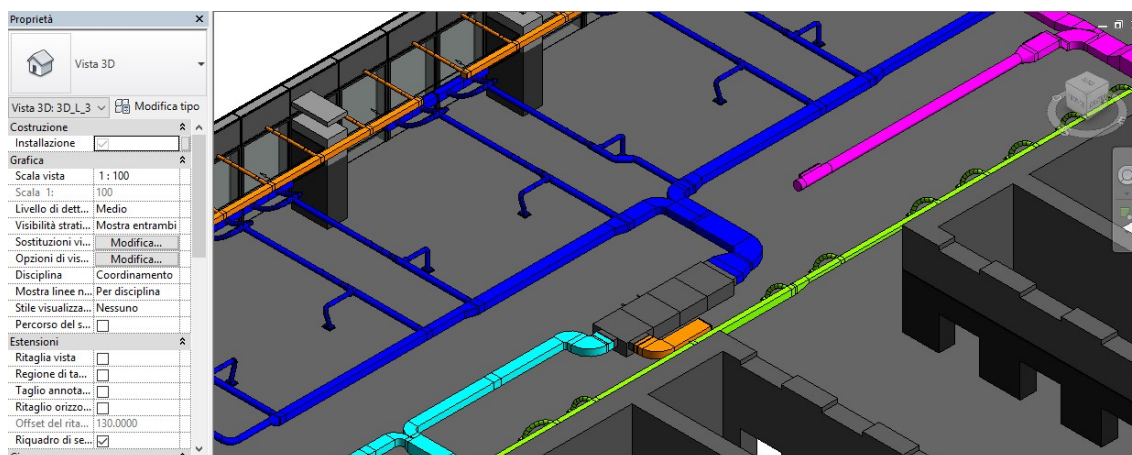


Figura 40: Spaccato assonometrico di una porzione di impianto di distribuzione del piano trentesimo modellato con Autodesk Revit.

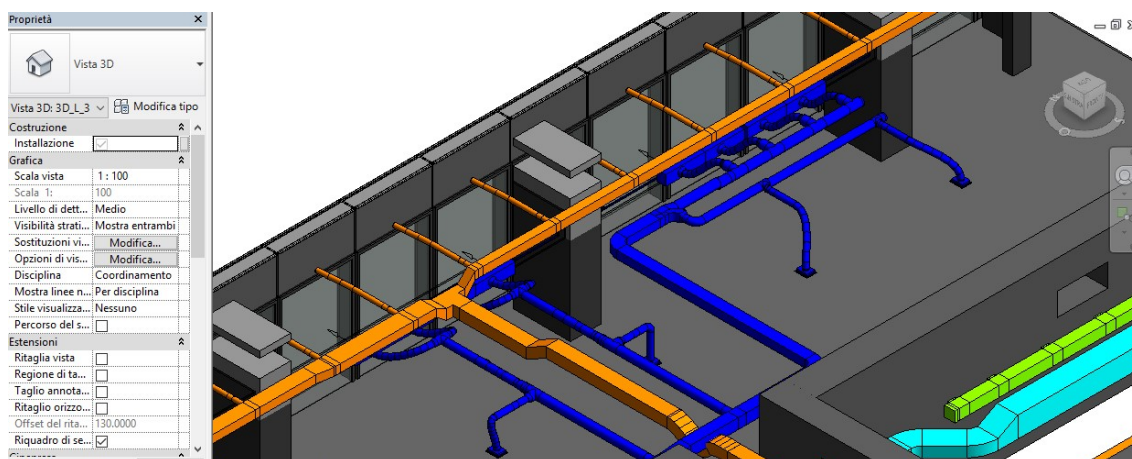


Figura 41: Spaccato assonometrico di una porzione di impianto di distribuzione del piano trentesimo modellato con Autodesk Revit.

3.2 CASO FABBRICATO INDUSTRIALE FCA SITO A GRUGLIASCO (TO)

Il secondo caso studio affrontato è stato, come già anticipato in precedenza, quello del fabbricato industriale dedicato alla finitura di autoveicoli di proprietà FCA sito a Grugliasco (TO).

Verranno ora descritte, dapprima le fonti iniziali ottenute (in questo caso in formato cartaceo), e successivamente la modellazione vera e propria delle bocchette di ventilazione dell'aria attraverso il software di modellazione meccanica Autodesk Inventor, come nel caso precedente, non riporteremo l'intero processo di modellazione, ma i risultati finali utilizzati poi per l'esportazione nel software di simulazione energetica Autodesk CFD

3.2.1 STATO DELL'ARTE E DOCUMENTAZIONE INIZIALE

Per quanto concerne il caso corrente, non abbiamo ottenuto dati iniziali in formato cartaceo o digitale, ma in seguito a rilievo in loco, si sono ricostruite le caratteristiche geometriche delle bocchette di aspirazione considerate all'interno di questo lavoro, bocchette che si sono rivelate essere di pianta quadrata e di dimensioni 40 cm x 40 cm: Verranno quindi ora riportati i disegni preliminari da cui si è partiti per la modellazione meccanica tramite il software Autodesk Inventor.

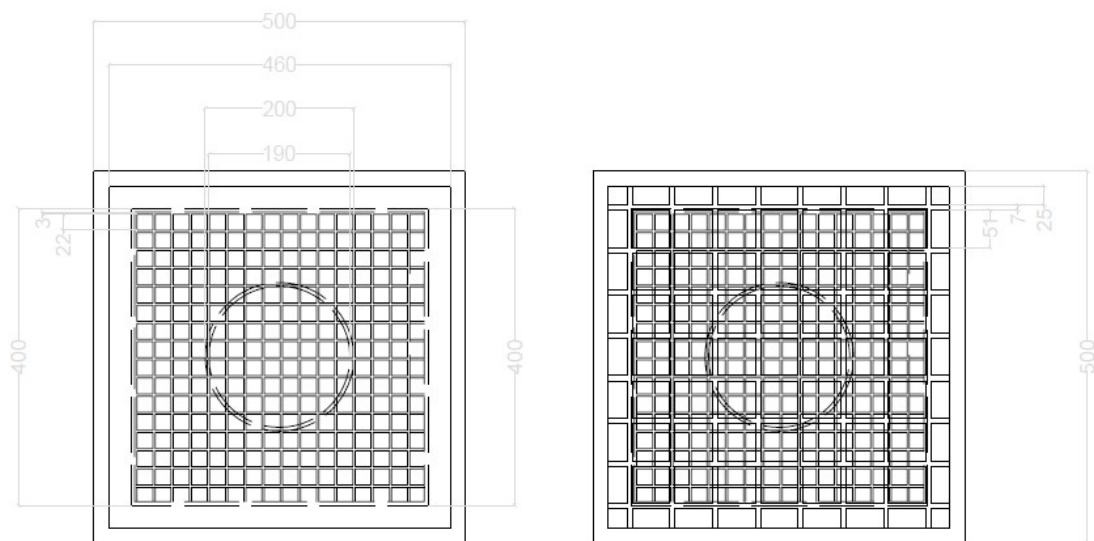


Figura 42: Pianta bocchetta di aspirazione 40 cm x 40 cm.



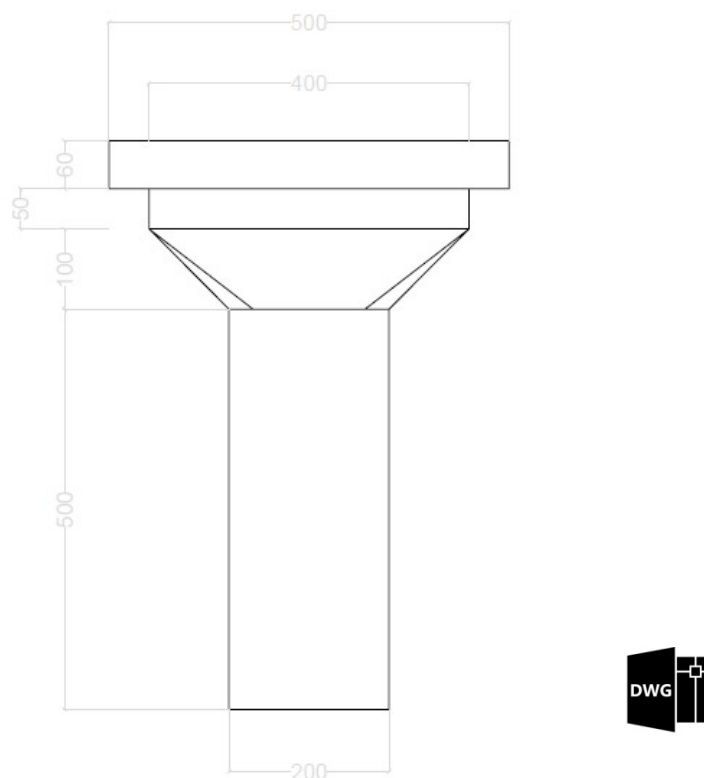


Figura 43: Prospetto bocchetta di aspirazione 40 cm x40 cm.

Sulla base di questi dati di rilievo sull'esistente, abbiamo iniziato la fase di modellazione vera e propria, che verrà trattata nel capitolo successivo.

3.2.2 MODELLAZIONE MECCANICA BOCCHETTE SINGOLE E GRUPPI DI BOCCHETTE DI VENTILAZIONE-ASPIRAZIONE

Come anticipato in precedenza la modellazione di dettaglio dei terminali dell'impianto di aspirazione dell'aria del fabbricato, è stata operata tramite il software Autodesk Inventor, utilizzato soprattutto in ambito meccanico, come si vedrà in seguito adatta anche a particolari impiantistici in scala 1:1, come nel caso trattato.

Verrà ora fornita una serie di immagini relative al risultato finale della modellazione 3D, poi utilizzate per l'esportazione nel software di simulazione Autodesk CFD.

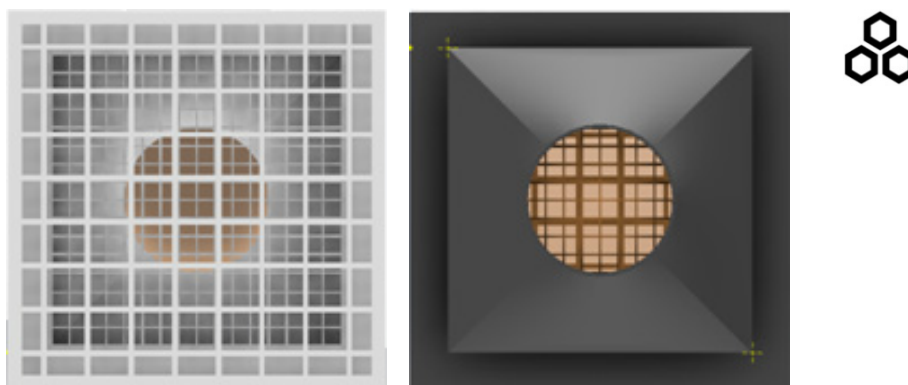


Figura 44



Figura 45



Figura 46

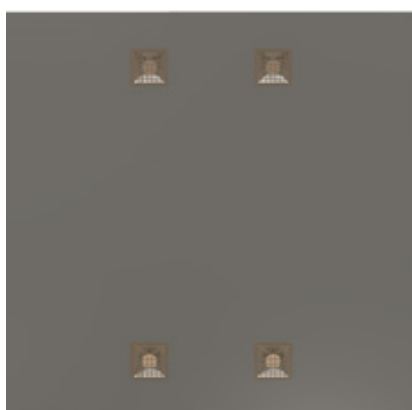


Figura 47

BOCCHETTA 40 cm x 40 cm

Figura 43: Vista dall'alto e
vista dal basso.

Figura 44: Vista assonometrica.

Figura 45: Prospetto frontale.

Figura 46: Vista dall'alto
gruppo di modello 4 bocchette.



Figura 48: Prospetto laterale gruppo di modello 4 bocchette 40 cm x 40 cm.

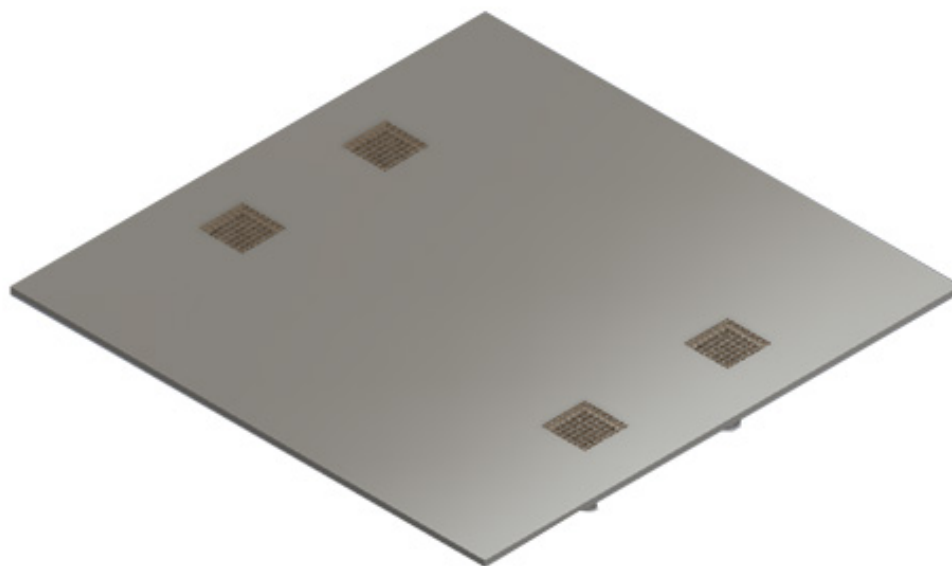


Figura 49: Vista assonometrica dall'alto gruppo di modello 4 bocchette 40 cm x 40 cm.

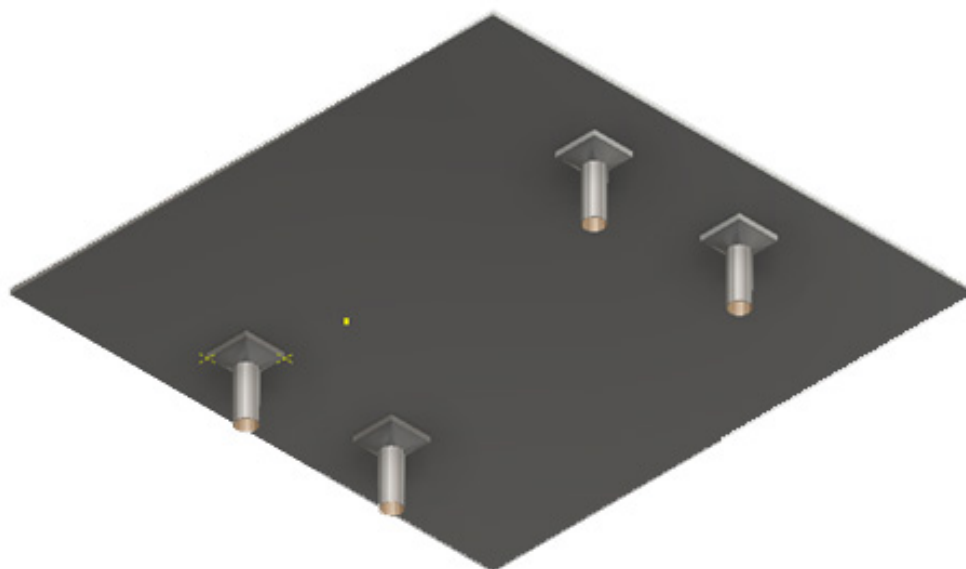


Figura 50: Vista assonometrica dal basso gruppo di modello 4 bocchette 40 cm x 40 cm.

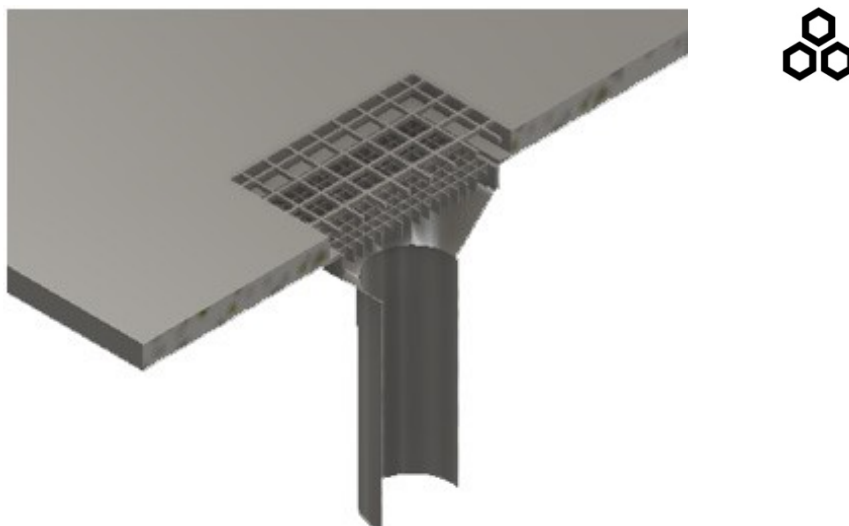


Figura 51: Sezione assonometrica dall'alto bocchetta 40 cm x 40 cm.

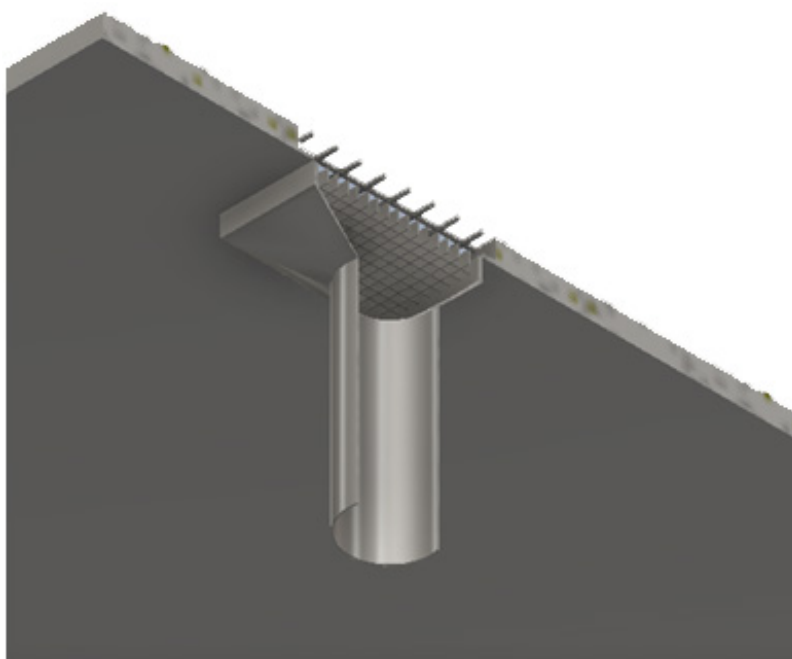


Figura 52: Sezione assonometrica dal basso bocchetta 40 cm x 40 cm.

3.3 CASO FABBRICATO INDUSTRIALE FCA SITO A CASSINO (FR)

Il terzo caso studio affrontato, ma comunque assimilabile al secondo per caratteristiche simili nelle geometrie e nel modus operandi seguito nella modellazione è stato, come già anticipato in precedenza, quello del fabbricato industriale dedicato alla finitura di autoveicoli di proprietà FCA sito a Cassino (FR).

Verranno ore descritte, dapprima le fonti iniziali ottenute, sottoforma di schede tecniche fornite dalla proprietà e successivamente la modellazione vera e propria delle bocchette di ventilazione dell'aria attraverso il software di modellazione meccanica Autodesk Inventor.

Come nei casi precedenti, non riporteremo l'intero processo di modellazione, ma i risultati finali utilizzati poi per l'esportazione nel software di simulazione energetica Autodesk CFD.

3.3.1 STATO DELL'ARTE E DOCUMENTAZIONE INIZIALE

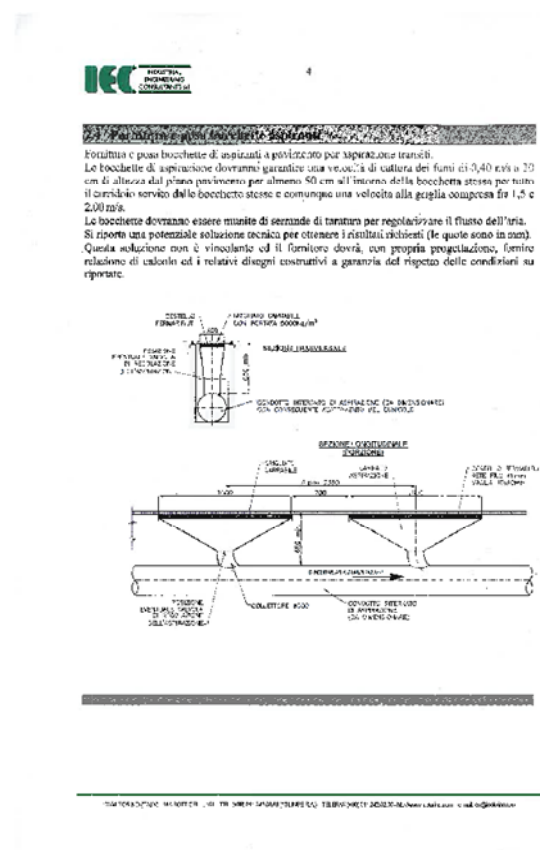


Figura 53: Scheda tecnica bocchette 160 cm x 30 cm.

Lo stato dell'arte in questo caso non è coinciso con il rilievo diretto nello stabilimento di Cassino, ma basato sulle schede tecniche delle bocchette di ventilazione (presenti in figura 52), forniteci direttamente dai produttori, sulla base di quelle utilizzate da FCA.

Le distanze e le caratteristiche geometriche delle bocchette ci sono state fornite da FCA. Infine anche i dettagli di carattere fisico-tecnico da utilizzare nel passaggio successivo del processo, ovvero la simulazione energetica sono stati ottenuti direttamente da FCA. Come si può notare dalle schede tecniche le bocchette di ventilazione considerate sono caratterizzate da dimensioni in pianta di 160 cm x 30 cm, presentano quindi una forma geometrica sensibilmente differente rispetto al caso di Grugliasco. È stata quindi necessaria una modellazione differente sia per il caso delle singole bocchette, sia per il caso del gruppo di modello.

3.3.2 MODELLAZIONE MECCANICA BOCCHETTE SINGOLE E GRUPPI DI BOCCHETTE DI VENTILAZIONE-ASPIRAZIONE

Come nei casi precedenti, anche per quanto riguarda le bocchette di aspirazione a pavimento del fabbricato industriale FCA sito a Cassino, riporteremo una serie di immagine relative al modello definitivo creato con Autodesk Inventor, tenendo conto che i dati fondamentali in questa parte sono quelli relativi alle geometrie, che come anticipato sono comuni a tutte le bocchette considerate e che possono essere così riassunte:

- Dimensioni in pianta: 160 cm x 30 cm.
- Distanza griglia superiore di camminamento – condotto orizzontale: 65 cm.
- Maglia del cestello ferma rifiuti: 1 cm x 1 cm con diametro rete filo: 0,1 cm.
- Distanza fra bocchette lato corto: 70 cm.

Passiamo adesso alla serie di immagini ottenute dal modello Autodesk Inventor, di cui forniremo solo quelle fondamentali alla comprensione dei passaggi successivi di simulazione fluidodinamica.

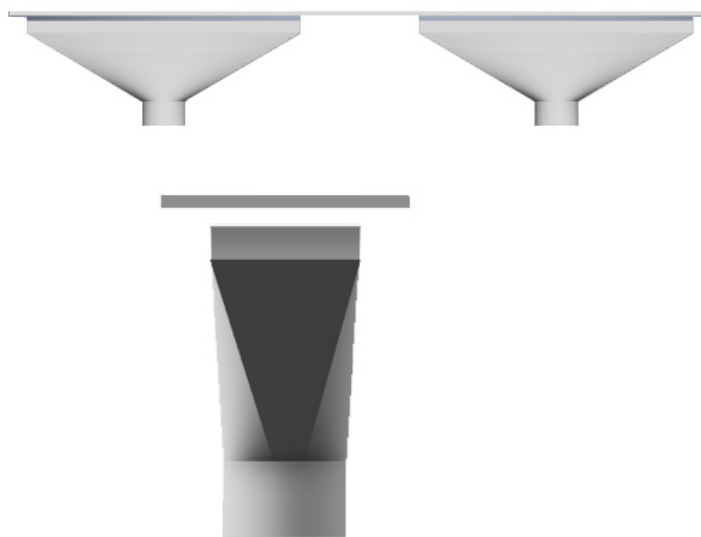


Figura 54: Prospetto laterale e frontale bocchette 160 cm x 30 cm.



Figura 55: Vista dall'alto bocchette 160 cm x 30 cm e griglie.

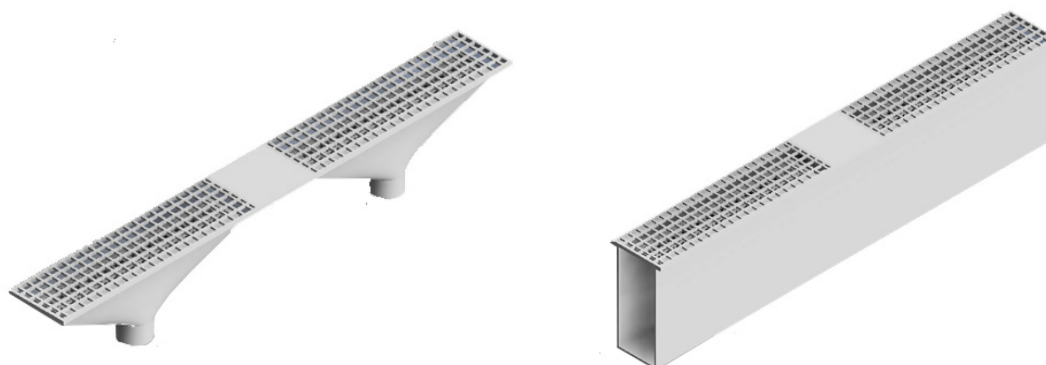


Figura 56: Viste assometriche bocchette 160 cm x 30 cm, griglie e cavedio orizzontale.

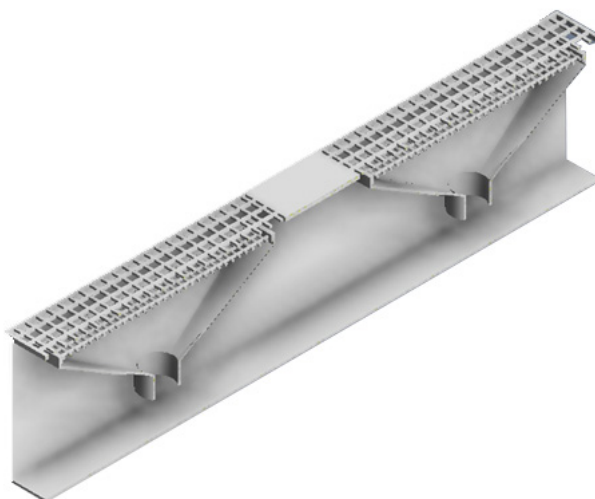


Figura 57: Sezione assonometrica laterale bocchette 160 cm x 30 cm e cavedio.

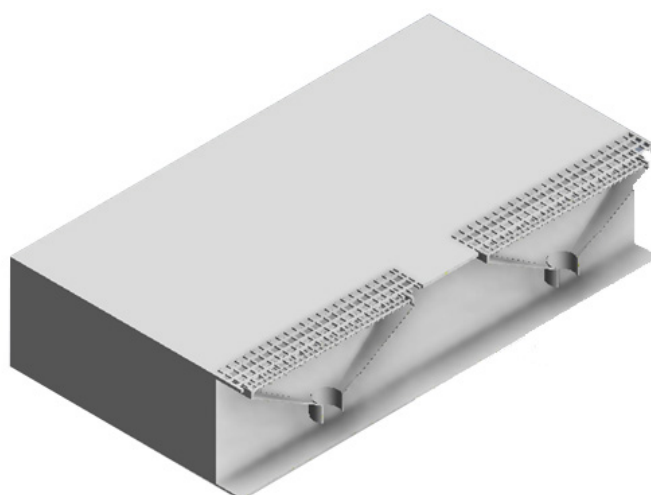


Figura 58: Sezione assonometrica laterale bocchette, cavedio e terrapieno.



Figura 59: Sezione assonometrica frontale bocchetta 160 cm x 30 cm e griglie.

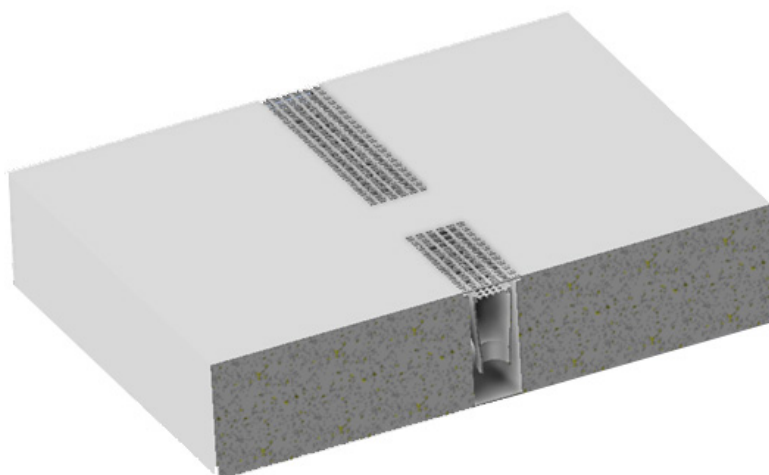


Figura 60: Sezione assonometrica frontale bocchetta, griglie, cavedio e terrapieno.

Una volta definite le caratteristiche principali dei vari modelli, appartenenti alla prima fase operativa, quella caratterizzata dal passaggio dallo stato di fatto alla modellazione 3D, si parlerà nel capitolo successivo, della seconda fase operativa di questo lavoro: il passaggio dai modelli creati in precedenza, all'inserimento degli stessi nel software di simulazione fluidodinamica Autodesk CFD.

Si seguirà come avvenuto in questo capitolo la linea iniziale auspicata, trattando prima l'introduzione alla simulazione stessa, per poi parlare dei singoli casi considerati, sottolineando quindi le differenze di esportazione di modelli provenienti da software di modellazioni differenti, con le problematiche annesse ed infine i risultati ottenuti.

4 DAL MODELLO BIM ALL'ANALISI COMPUTAZIONALE DINAMICA (CFD Simulation)

In questo capitolo verrà affrontata la seconda ed ultima parte del procedimento riportato nello schema metodologico riportato in figura 9, ovvero il passaggio dai modelli di progettazione, creati come descritto nel capitolo 3, all'introduzione degli stessi nel software di computazione fluidodinamica Autodesk CFD.

Il capitolo sarà strutturato in questo modo:

- Dapprima verrà data una breve spiegazione del percorso seguito nell'esportazione dei vari modelli.
- Successivamente verranno trattati i singoli casi dei tre fabbricati considerati in fase di modellazione 3D, sottolineando in particolare le problematiche nell'esportazione dei modelli creati e della necessità di effettuare notevoli semplificazioni agli stessi, per potere creare un modello adatto ad essere esportato in Autodesk CFD.
- Infine, relativamente ad ognuno dei tre edifici modellati ed esportati, verranno analizzati i risultati dell'analisi computazionale dinamica effettuata con Autodesk CFD Simulation.
- A corollario dell'analisi dei risultati, verrà poi effettuato un confronto sia relativo ai differenti livelli di problematicità nell'esportazione dei modelli provenienti da software diversi, sia la veridicità dei risultati ottenuti nei tre casi considerati, ponendo soprattutto l'accento sulla differenza fra un modello più generale di edificio come il caso del grattacielo Torre della Regione Piemonte, e fra un modello più dettagliato e particolare, ma con dimensioni geometriche notevolmente inferiore, come nel caso delle bocchette di ventilazione dei due fabbricati di proprietà FCA.

Riportiamo ora la porzione dello schema suddetto, inerente a questa fase operativa, per poi dare una descrizione dei vari passaggi.

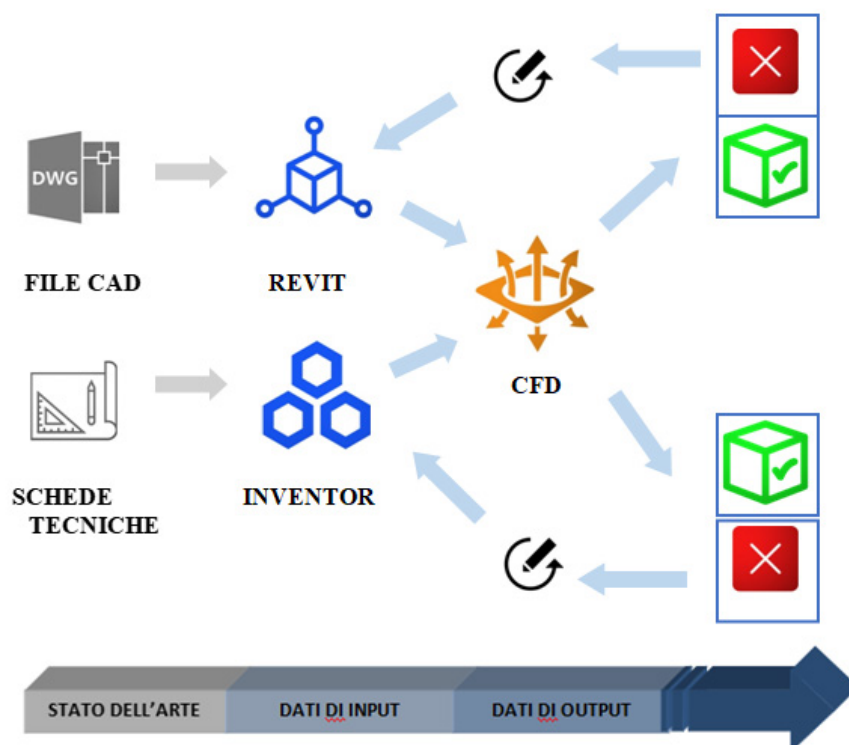


Figura 61: Porzione di schema metodologico inerente al capitolo corrente¹⁴.

Come si evince dalla figura 61, i passaggi fondamentali seguiti in questa fase operativa, sono i seguenti:

- Esportazione dei modelli precedentemente creati attraverso software di modellazione diversi in Autodesk CFD.
- Valutazione in merito alla validità del modello da esportare.
- Simulazione energetica dei modelli tramite Autodesk CFD.
- Verifica della possibilità di far partire la simulazione energetica con i modelli correnti, oppure necessità di apportare modifiche e semplificazioni ai modelli.
- Eventuale semplificazione dei modelli in collisione con Autodesk CFD.
- Ri-esportazione di un modello valido in Autodesk CFD (fase di iterazione fino ad ottenimento di un modello accettabile per l'esportazione).
- Analisi computazionale dinamica vera e propria.
- Analisi risultati.

¹⁴ La figura 61 rappresenta solo una porzione dello schema metodologico considerato, per l'intero flusso di lavoro, fare riferimento alla figura 9.

4.1 CASO TORRE DELLA REGIONE PIEMONTE

Il primo caso considerato, così come avvenuto nel capitolo precedente, è stato quello del grattacielo Torre della Regione Piemonte. Verrà ora analizzata nel dettaglio la procedura che, a partire dal modello generato attraverso il software Autodesk Revit, ha portato all'analisi computazionale dinamica.

4.1.1 ESPORTAZIONE INIZIALE DEL MODELLO E RELATIVE PROBLEMATICHE

Il primo tentativo di esportazione del modello nel software Autodesk CFD, è avvenuto utilizzando il modello di progettazione così come concepito nel capitolo precedente, ovvero il più dettagliato possibile.

In particolare occorre sottolineare:

- Presenza delle differenti tipologie di sistema attribuite ai vari componenti dell'impianto di distribuzione dell'aria, così come riportate nel capitolo precedente.
- Presenza dei vari materiali associati a ciascuno degli elementi architettonici, strutturali ed impiantistici, così come riportati nel capitolo precedente.
- Presenza dei file di collegamento relativi ad ambito architettonico, strutturale ed "As built".

Presentiamo adesso immagini relative al primo tentativo di esportazione del modello in Autodesk CFD.

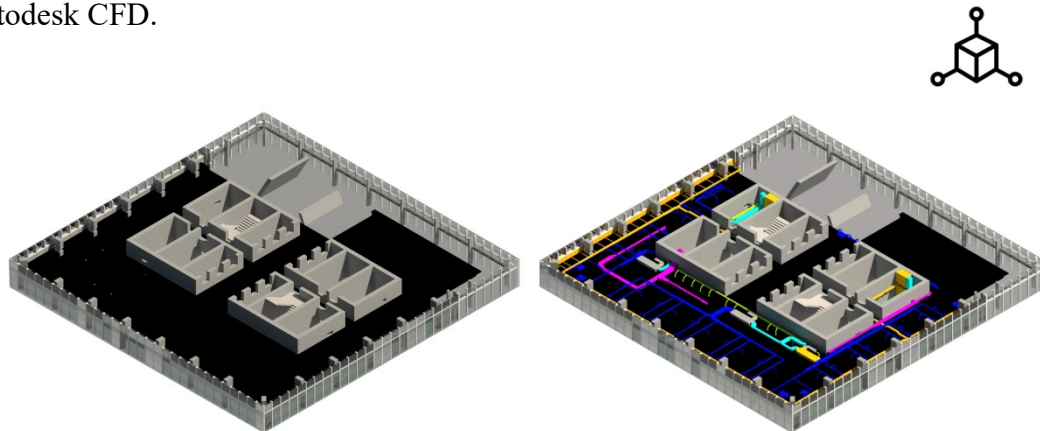


Figura 62: Primo tentativo di esportazione (con controsoffitto e con impianti a vista).

Come si può facilmente evincere dall'analisi dell'elenco precedente, il livello di dettaglio caratterizzante il primo modello esportato è molto alto, e tale definizione ha portato ad una non accettazione del modello da parte del software Autodesk CFD.

Passiamo adesso a descrivere le semplificazioni effettuate per la definizione di un modello accettabile nell'esportazione:

- Innanzitutto, abbiamo verificato che l'attribuzione di tipologie di sistema agli impianti, all'interno del modello creato in Autodesk Revit rappresentava un'operazione ridondante ai fini della simulazione, in quanto una volta esportato il modello, tali dati vengono persi. Per non appesantire ulteriormente un modello già con un dettaglio molto elevato, abbiamo quindi optato per la rimozione delle tipologie di sistema.
- Secondariamente, viste le problematiche insorte nell'esportazione, anche in seguito alla rimozione di buona parte della modellazione MEP, la successiva semplificazione è stata l'eliminazione all'interno dei file di collegamento architettonico e strutturale, "linkati" al modello centrale HVAC, di tutti i piani non considerati all'interno della simulazione. Ci si è quindi limitati a considerare i piani 29, 30 e 31, ovvero il piano analizzato ed i due adiacenti superiormente ed inferiormente.
- In terzo luogo, vista la presenza di un elevato numero di forme circolari all'interno del modello (soprattutto dovute agli impianti di distribuzione orizzontale), si è optato per la rimozione di tutta la distribuzione impiantistica, limitando quindi gli impianti ai terminali di distribuzione interni all'ambiente considerato nell'analisi computazionale dinamica, ovvero quello con destinazione d'uso: uffici amministrativi.

Prima di proseguire con l'elenco delle modifiche apportate per il modello semplificato forniremo una legenda valida per la corretta lettura delle figure di confronto fra i due modelli che seguiranno:



Eliminazione elementi dal modello iniziale



Sostituzione elementi iniziali con modelli semplificati

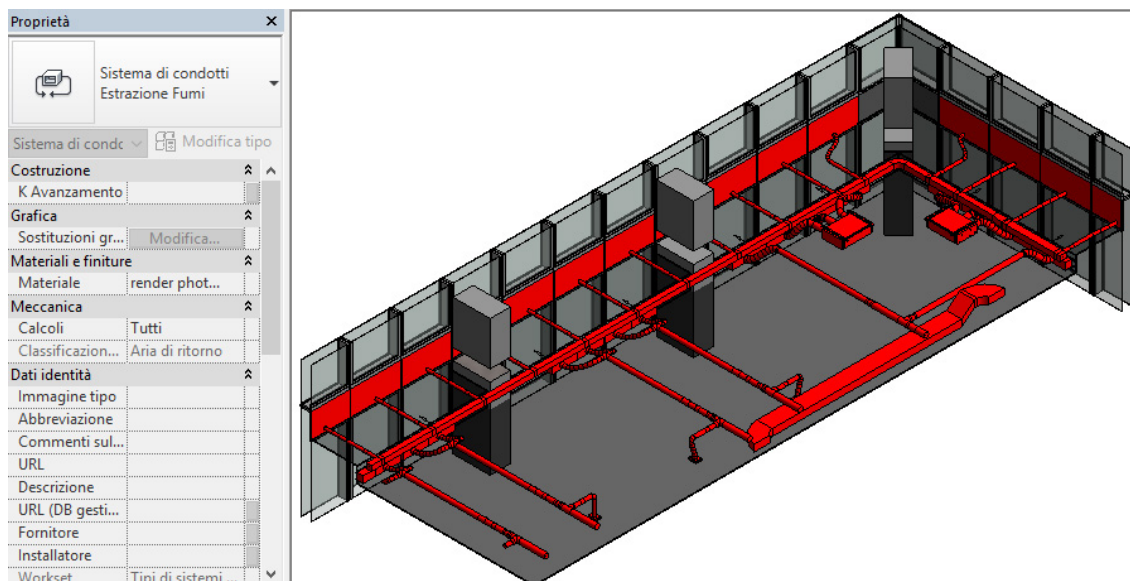


Figura 63: Architectural model – Air distribution system.

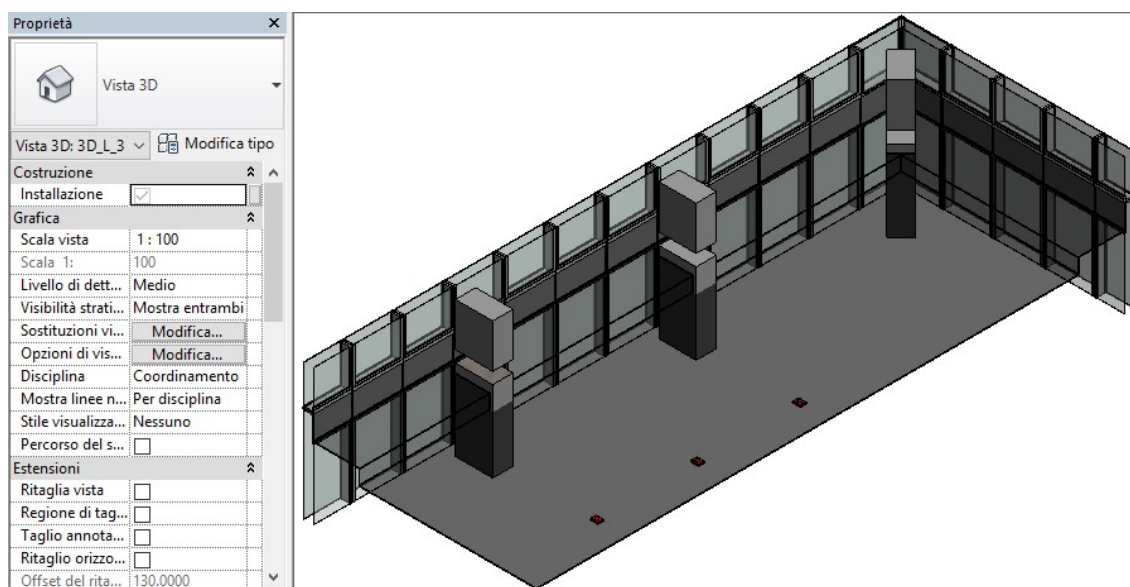


Figura 64: Simplified model for CDF Simulation.



- Infine, è stata necessaria una ulteriore semplificazione delle geometrie anche all'interno del file HVAC, in particolare si sono riscontrate problematiche nei punti del modello di intersezione fra geometrie diverse, quali gli attacchi fra partizioni verticali ed orizzontali e fra pilastri strutturali e solai, soffitti e controsoffitti.
- Inoltre, a causa dell'estremo grado di dettaglio dovuto alle chiusure verticali, si è scelto di sostituire la superficie finestrata del modello originale, con una facciata continua vetrata con caratteristiche geometriche simili al doppio vetro del modello originale, ma privi dei montanti verticali ed orizzontali.

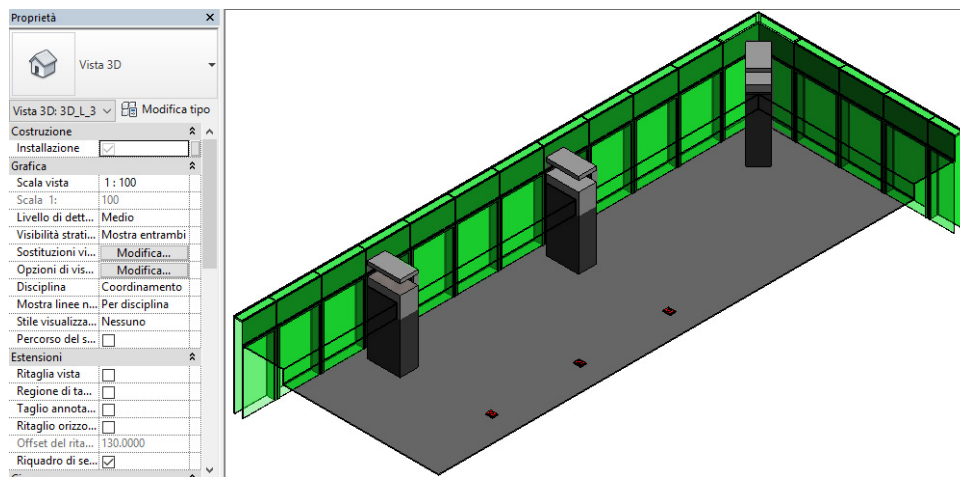


Figura 65: Architectural model – Glass window.

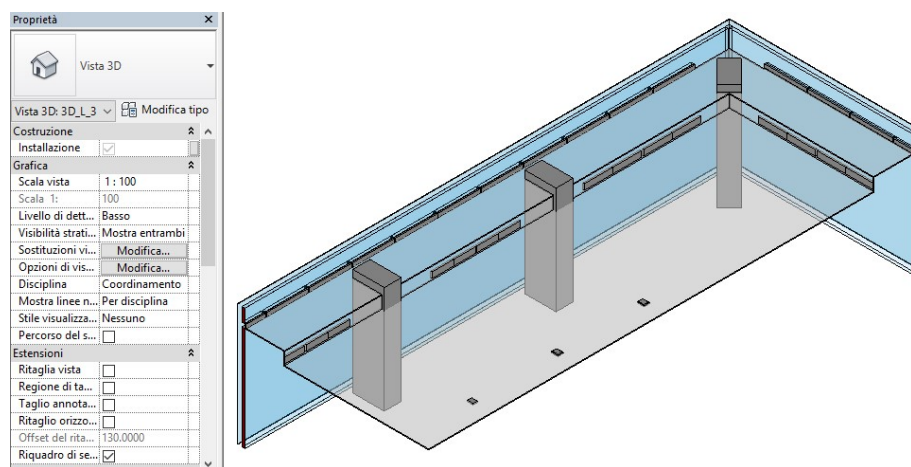
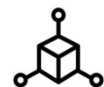


Figura 66: Simplified model for CFD Simulation.



- Una ultima semplificazione è stata infine adottata per quanto concerne i nuclei del grattacielo Torre della Regione, si è infatti deciso di rimuovere le geometrie complesse delle scale al loro interno, in quanto non facenti parte dell'ambiente confinato protagonista dell'analisi fluidodinamica.

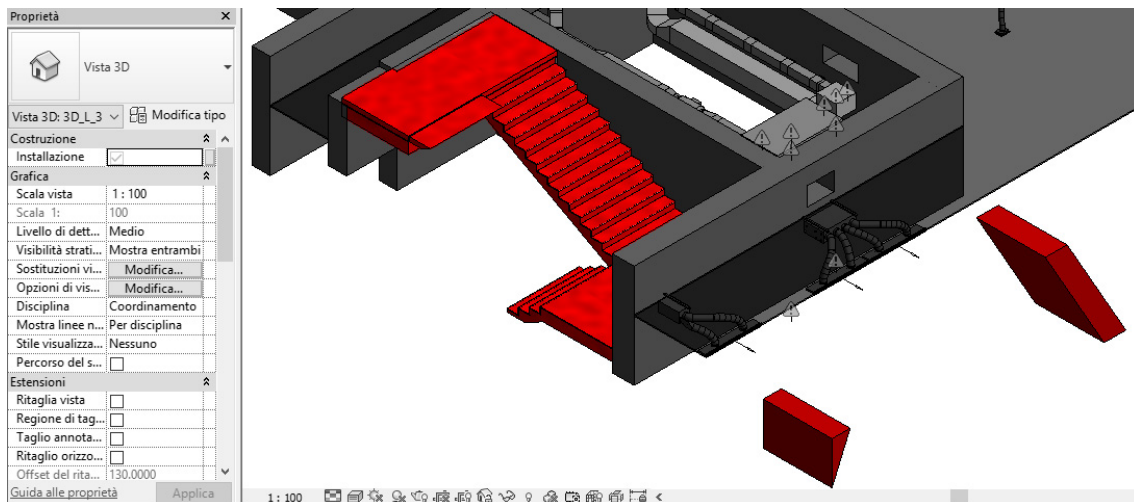


Figura 67: Architectural model – Stairs.

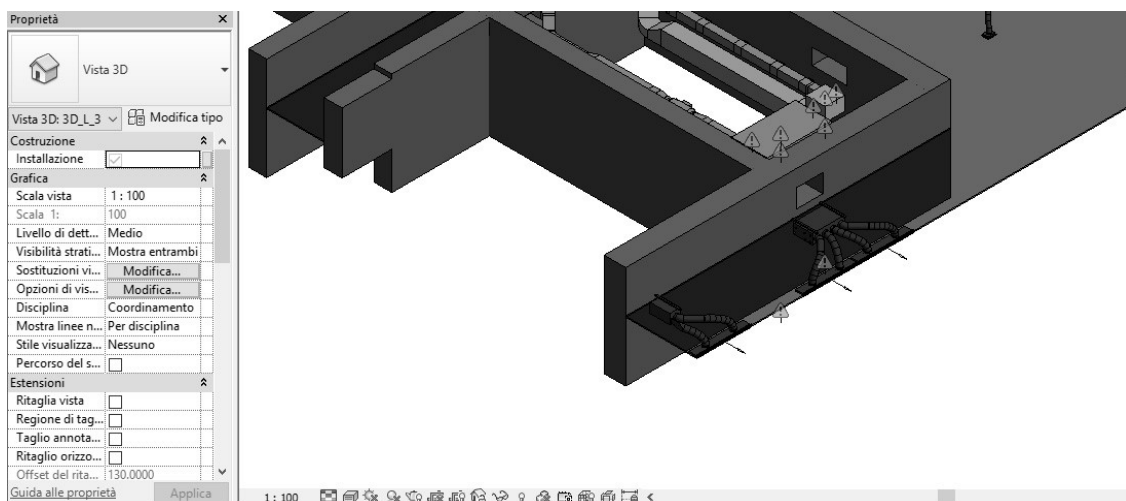
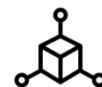
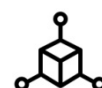


Figura 68: Simplified model for CFD Simulation.



Forniamo adesso delle immagini relative al modello definitivo che è stato protagonista dell'analisi computazionale dinamica tramite Autodesk CFD.

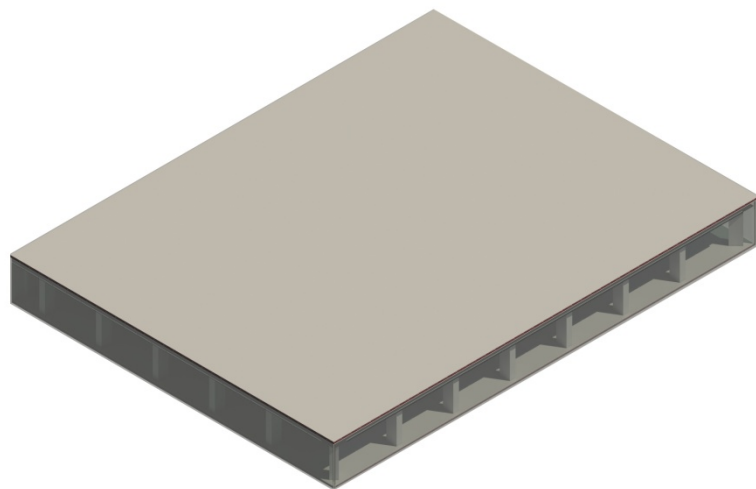


Figura 69: Modello definitivo esportato in Autodesk CFD.

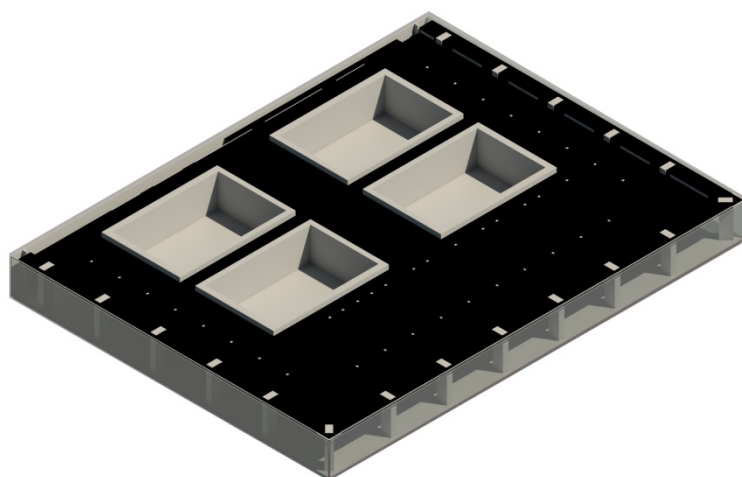


Figura 70: Modello definitivo esportato in Autodesk CFD (terminali a vista).



4.1.2 MODELLO SEMPLIFICATO E SIMULAZIONE DINAMICA COMPUTAZIONALE (CFD Simulation)

Il passaggio immediatamente successivo alla definizione dei modelli tridimensionali, è stato, come anticipato in precedenza, l'importazione dei suddetti modelli in Autodesk CFD per portare a compimento il processo di simulazione energetica.

Di seguito verranno infatti fornite le simulazioni fluidodinamiche relative ai vettori di intensità di velocità all'interno dell'ambiente preso in considerazione.

Ogni schema fluidodinamico verrà quindi commentato e confrontato con gli altri.

Prima delle analisi del caso in questione, si è ritenuto opportuno riportare uno schema del workflow seguito, tratto dal sito di riferimento: “<http://aucache.autodesk.com>”, che ben mette in luce quali sono stati i passaggi fondamentali nella creazione di un modello energetico che rispondesse ai requisiti previsti.

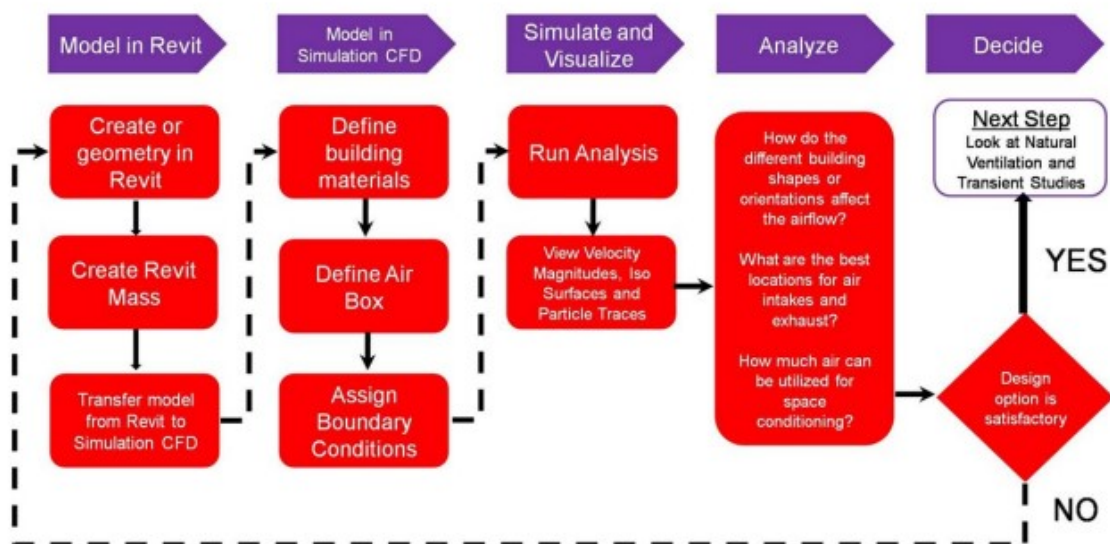


Figura 71: Schema metodologico seguito nel passaggio da modello BIM a simulazione CFD. (aucache.autodesk.com, 2016)¹⁵.

¹⁵ Per maggiori delucidazioni in merito alla metodologia seguita, oppure altri esempi esplicativi dell'utilizzo della tecnologia CFD Simulation in caso di ventilazione naturale, anziché meccanica, fare riferimento al sito da cui è stato ottenuto lo schema in figura 61: “<http://aucache.autodesk.com>”, consultato il 25/02/2018 alle ore 11.

I vari passaggi elencati nello schema metodologico di figura 15, saranno spiegati in maniera dettagliata relativamente ad ognuno dei tre casi studio che abbiamo affrontato, in particolare inizieremo con il grattacielo Torre della Regione Piemonte, protagonista di questo paragrafo.

Innanzitutto, verranno fornite le indicazioni relative a materiali utilizzati, successivamente verranno descritte le condizioni al contorno prima, e quelle teoriche poi attribuite al modello; infine verrà evidenziato il raggiungimento della convergenza delle varie grandezze fisiche considerate dal simulatore, fino alla descrizione del risultato a simulazione completa.

Questo procedimento verrà seguito per ogni singola simulazione.¹⁶

Elenchiamo ora schematicamente i vari passaggi riportati sopra, che saranno validi per ogni simulazione affrontata:

- a) CARATTERISTICHE GEOMETRICHE MODELLO
- b) CARATTERISTICHE DEI MATERIALI
- c) CONDIZIONI AL CONTORNO
- d) CONDIZIONI INIZIALI
- e) DIMENSIONAMENTO MESH
- f) RISOLUZIONE E GESTIONI RISOLUTORI
- g) RISULTATI FINALI

¹⁶ Occorre sottolineare che i passaggi elencati in questo paragrafo risulteranno validi anche per i casi di simulazione dei due fabbricati di proprietà FCA, pertanto ci limiteremo a riportare l'elenco completo solo in questo capitolo, pur conservando di validità anche per tutti i casi successivi.

Iniziamo quindi ora la descrizione del processo di simulazione vero e proprio del caso corrente del grattacielo Torre della Regione Piemonte, seguendo l'ordine degli eventi sopra descritto.

a) CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL MODELLO

Si è già parlato in precedenza sia delle caratteristiche dell'edificio, sia degli elementi impiantistici o comunque caratterizzati da proprietà termo-fisiche funzionali alla simulazione energetica, non riporteremo dunque quanto detto in precedenza, ma rimandiamo al capitolo precedente.

Ribadiamo tuttavia, che abbiamo considerato la porzione di edificio compresa fra il ventinovesimo ed il trentunesimo piano del grattacielo Torre della Regione, ed in particolare l'ambiente con destinazione d'uso gli uffici dedicati all'amministrazione.

b) CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

I materiali attribuiti alle varie componenti dell'ambiente considerato nella simulazione energetica sono essenzialmente due:

- CALCESTRUZZO: sia per le componenti strutturali derivanti dal file centrale esterno collegato al modello centrale utilizzato, sia per la parte architettonica ad eccezione della chiusura verticale di parete, per la quale si è scelto il materiale vetro.¹⁷
- VETRO: per la chiusura verticale di parete.
- ARIA per tutti i volumi non occupati da materiale allo stato solido, ovvero sia per il volume interno dell'ambiente costruito, sia per il volume interno al cavedio, sia per il volume all'interno delle bocchette di ventilazioni e dei condotti verticali.

¹⁷ Sottolineiamo il fatto che il materiale calcestruzzo sia stato attribuito anche a tutti i controsoffitti ed alle bocchette di aspirazione e mandata. Tale soluzione è stata adottata perché con una distribuzione omogenea del materiale all'interno dell'ambiente la simulazione è risultata essere più efficace. Una differente attribuzione del materiale rispetto alle caratteristiche reali delle varie componenti non inficia i risultati finali, in quanto a livello di intensità di velocità dell'aria non esistono sostanziali differenze se non per materiale allo stato solido ed allo stato liquido.

c) CONDIZIONI AL CONTORNO

Le condizioni al contorno applicate sono state quelle evidenziate nel file iniziale di progetto relativo alla distribuzione impiantistica, ed in particolare i valori di progetto attribuiti sono stati:

- Pressione relativa alla superficie superiore del volume di controllo pari a 0 Pascal.
- Intensità di velocità dell'aria delle bocchette di mandata situate lungo il perimetro dell'area attorno ai 4 nuclei pari a 0,55 m/s.
- Intensità di velocità dell'aria di aspirazione delle bocchette disposte linearmente a filo dei due nuclei frontali pari a 0,275 m/s.

Di seguito riportiamo alcune immagini esplicative, in modo da individuare anche graficamente le componenti impiantistiche a cui sono state attribuite le condizioni al contorno di cui sopra.

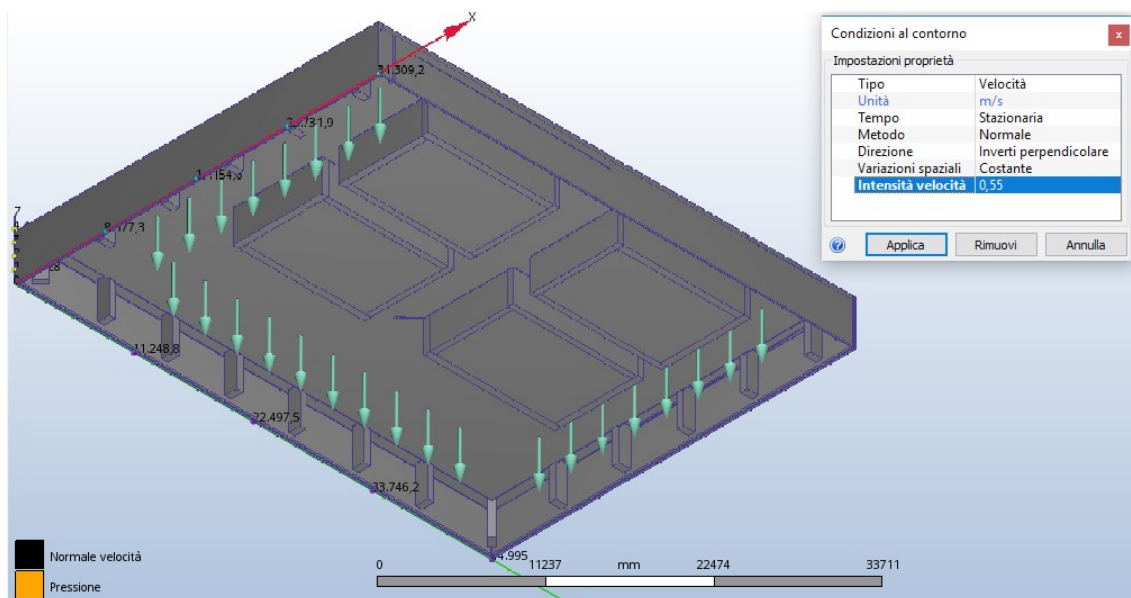


Figura 72: Rappresentazione del modello di simulazione energetica con la distribuzione della grandezza fisica intensità di velocità dell'aria di mandata.

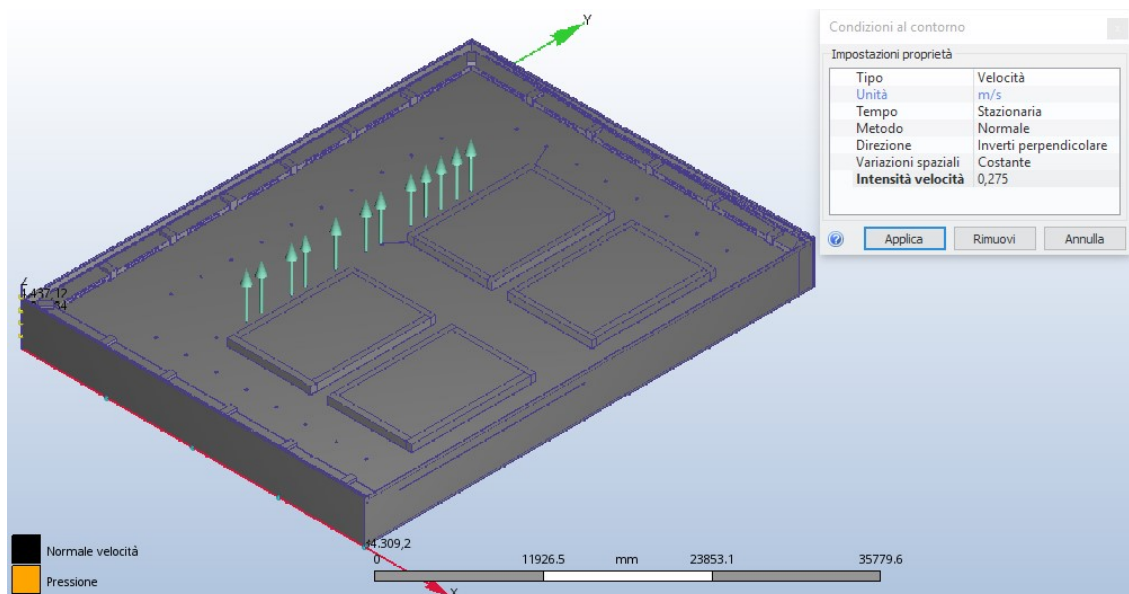


Figura 73: : Rappresentazione del modello di simulazione energetica con la distribuzione della grandezza fisica intensità di velocità dell'aria di aspirazione.

d) CONDIZIONI INIZIALI

Per quanto riguarda le condizioni iniziali, l'unica grandezza fisica che abbiamo presa in considerazione è stata la temperatura dell'aria ed in particolare i valori attribuiti sono stati:

- Temperatura aria interna in tutto l'ambiente di simulazione pari a 20° C.
- Temperatura aria esterna associata alle superfici vetrate presente su tre lati perimetrali dell'ambiente confinato pari a -8° C.¹⁸

¹⁸ I valori considerati nell'attribuzione dei valori di temperatura dell'aria esterna ed interna di progetto sono stati ricavati dalla normativa UNI 10349.

e) DIMENSIONAMENTO MESH

Come si è detto in precedenza, nel capitolo in cui si è parlato del dimensionamento mesh, la semplificazione del modello a geometrie il più possibile lineare e limitatamente curve, è risultato fondamentale per l'esito positivo della simulazione stessa.

Non riporteremo immagine relativi al dimensionamento mesh, in quanto di poca utilità ai fini della comprensione del processo di simulazione; si è comunque ritenuto necessario specificarne l'utilizzo come giustificazione alla necessaria semplificazione del modello.

f) RISOLUZIONE E GESTIONI RISOLUTORI

Una volta inserite tutte le condizioni di progetto, ovvero i dati di input, si può avviare la risoluzione, daremo ora le principali informazioni fornite al programma in modo da ottenere una soluzione la più possibile vicina ai dati reali:

- La modalità di risoluzione scelta è stata stazionaria, in quanto l'analisi effettuata rappresenta un istante temporale medio della movimentazione dell'aria, non presenta quindi caratteristiche dinamiche, che avrebbero giustificato una scelta differente da quella adottata.
- Il computer risolutore scelto non è stato il computer sul quale si sono inseriti i dati di input, ma la risoluzione è avvenuta in cloud, in modo da ottimizzare i tempi. Una soluzione di questo genere infatti permette di utilizzare il software Autodesk CFD anche durante lo svolgimento della simulazione stessa.
- Il sistema gravitazionale scelto è stato naturalmente quello caratterizzato dalla forza di gravità rivolta verso il basso.
- Infine il numero di iterazioni richieste è stato pari a 300, numero ritenuto significativo per il raggiungimento di una convergenza dell'interpolazione dei dati.¹⁹

¹⁹ Occorre precisare che sebbene il numero di iterazioni inserito come dato di input all'interno del risolutore sia stato pari a 300, il software è giunto a convergenza con un numero di iterazioni pari a 71.



Figura 74: Raggiungimento della convergenza da parte del risolutore.

g) RISULTATI FINALI

In questa sezione verranno presentati i risultati finali della simulazione, ed in particolare verranno presi in considerazione i piani di riferimento ritenuti maggiormente indicativi delle condizioni verificatisi all'interno dell'ambiente confinato.

Presenteremo dapprima una visione d'insieme dei risultati della simulazione ed in secondo luogo i piani considerati più importanti per i fini di questo lavoro.

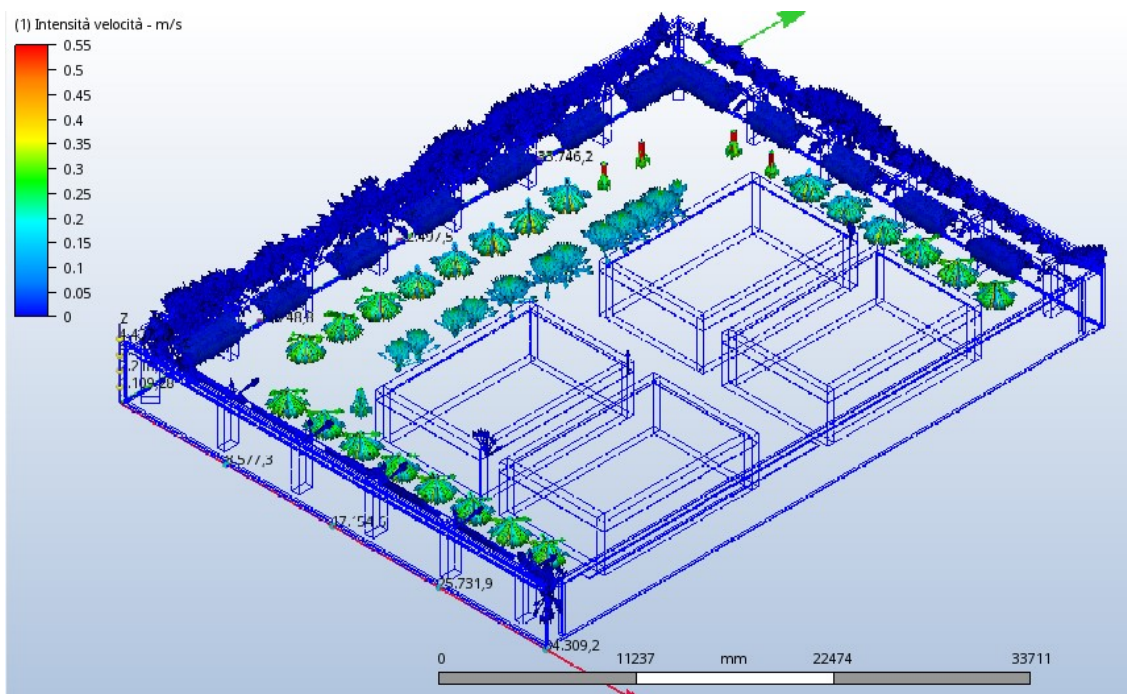


Figura 75: Immagine assonometrica del risultato finale di simulazione all'interno dell'ambiente confinato relativo al piano trentesimo del grattacielo Torre della Regione Piemonte.

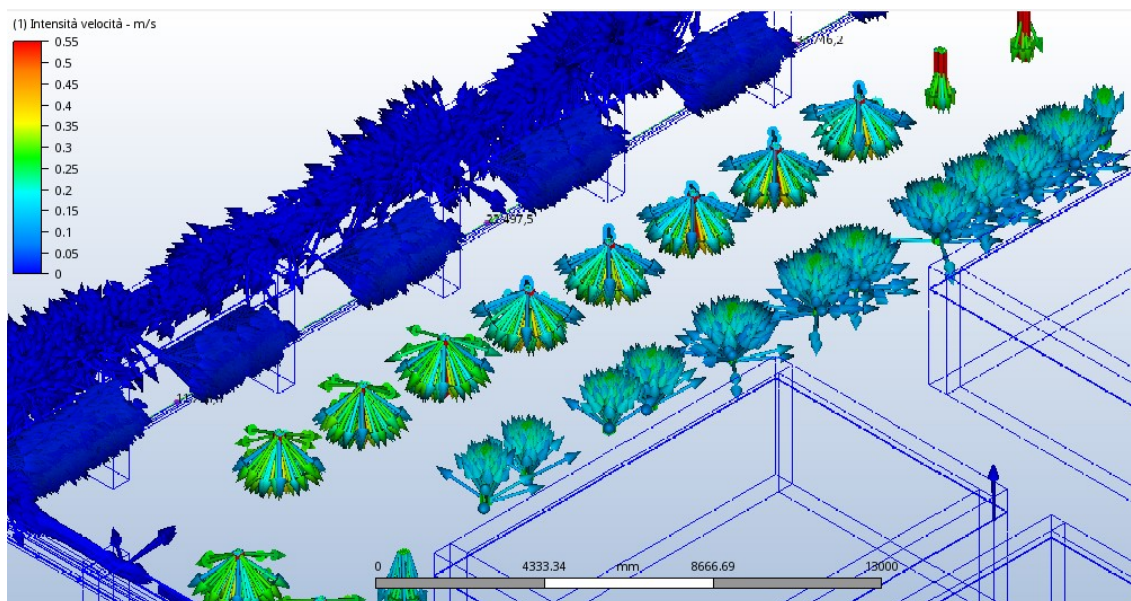


Figura 76: Dettaglio assonometrico della simulazione all'interno dell'ambiente confinato del piano trentesimo del grattacielo Torre della Regione Piemonte.

Come si può osservare dalle due immagini precedenti, figura 68 e figura 69, la restituzione grafica della simulazione risulta essere concordante con i dati di input inseriti in fase di progettazione.

In particolare possiamo osservare come l'intensità di velocità più alta, pari a 0,55 m/s, ed espressa tramite il colore rosso, si trovi in corrispondenza dei punti di inserimento dei dati manuali in fase progettuale, ovvero esattamente in prossimità delle bocchette di mandata. Risulta altrettanto evidente che man mano che ci si allontana dai suddetti punti il modulo dell'intensità di velocità diminuisca sempre più sino quasi ad azzerarsi in prossimità della pavimentazione.

Per quanto riguarda invece la direzione ed il verso del vettore intensità di velocità dell'aria, risultano anch'essi concordi con i valori introdotti in fase di input.

Occorre infine aggiungere il fatto che gli elementi visibili come colore blu intenso in zona perimetrale rappresentano le feritoie presenti nel modello architettonico, che a livello termo-fisico coincidono con l'aria di ritorno della distribuzione impiantistica, ma che nell'analisi dell'ambiente strettamente legato agli uffici amministrativi, non sono stati presi in considerazioni per non eccedere nella complessità del modello.

Vengono ora fornite immagine relative ai piani ritenuti maggiormente indicativi ai fini della simulazione fluidodinamica.

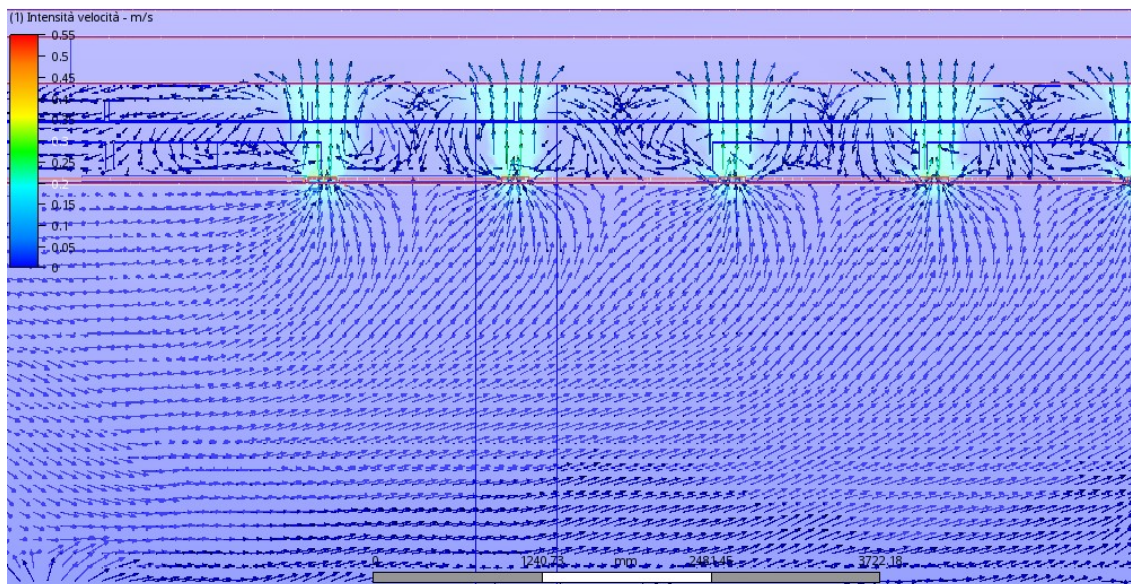


Figura 77: Piano perpendicolare al solaio e passante per il centro delle bocchette di aspirazione²⁰.

L'immagine presentata in figura 70, è relativa ad un piano perpendicolare al solaio del piano trentesimo e passante per il centro del filare di bocchette di aspirazione dell'aria.

Come si può osservare, le differenti colorazioni dei vettori di intensità di velocità dell'aria si avvicinano al verde in corrispondenza del centro delle bocchette all'altezza del controsoffitto, area a cui infatti è stato attribuito il modulo di 0,275 m/s.

Si può inoltre notare come all'interno dell'ambiente confinato, non si generino particolari vortici, che male si assocerebbero al concetto di comfort dell'occupante.

Possiamo quindi assumere che una progettazione di questo tipo non porti a "draft risk" o ad altre tipologie di discomfort dovuto all'aria di ventilazione, rendendo quindi accettabile la simulazione.

²⁰ Il piano che si è scelto non è casuale, si è infatti ritenuto fondamentale analizzare il comportamento dell'aria in corrispondenza delle bocchette di aspirazione in quanto zona critica dell'ambiente confinato, data la presenza di aria con intensità di velocità superiore in modulo rispetto alle altre zone del piano, con l'eccezione del piano passante per le bocchette di mandata, che appunto verranno analizzate immediatamente dopo.

L'immagine presentata adesso è relativa ad un altro piano verticale, sempre perpendicolare quindi al solaio del piano trentesimo, ma questa volta passante per il centro del filare di bocchette di mandata parallelo a quello di aspirazione analizzato in precedenza.

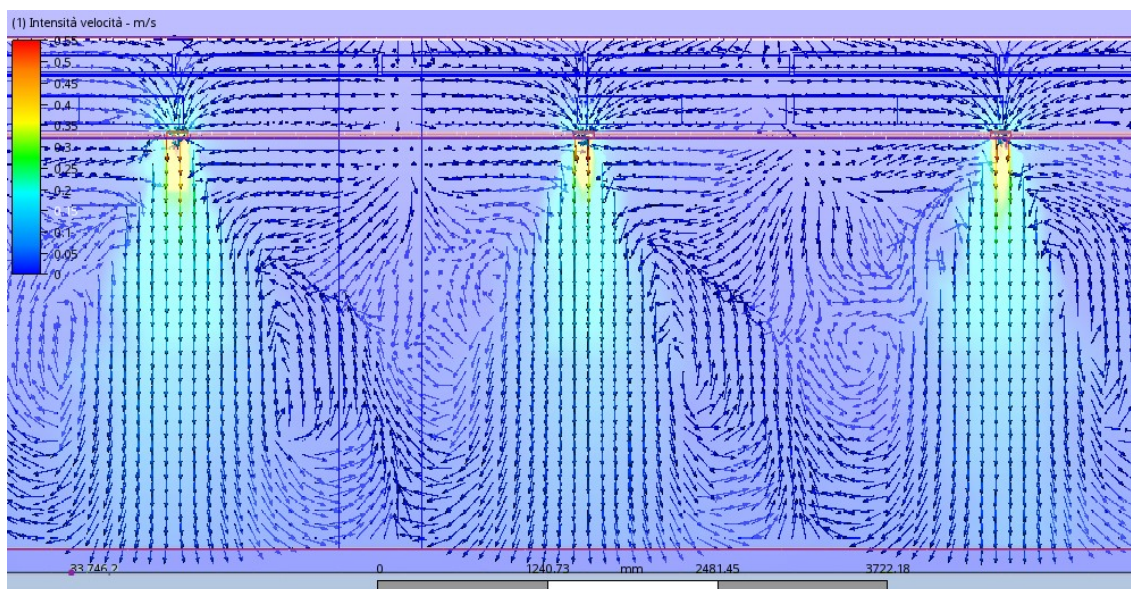


Figura 78: Piano perpendicolare al solaio e passante per il centro del filare di bocchette di mandata parallelo a quello delle bocchette di aspirazione.

Anche in questo caso è evidente, come il modulo dell'intensità di velocità dell'aria aumenti di valore in prossimità del centro delle bocchette, a livello del controsoffitto.

Anche in questa situazione infatti, i valori di input sono stati inseriti proprio nei suddetti punti; la colorazione tendente verso il rosso in tali aree testimonia il fatto che il valore in modulo inserito sia superiore rispetto alle bocchette di aspirazione e pari a 0,55 m/s.

Per quanto riguarda la presenza di ricircoli disturbanti, si può notare la creazione di leggeri vortici a circa metà della distanza fra ogni bocchetta; dato tutto il valore minimo del modulo dell'intensità di velocità dell'aria in tali aree, possiamo ritenere questo dato pressoché trascurabile, evitando quindi il rischio di discomfort locale a discapito dell'occupante e di eventuali "draft risk".

L'ultima immagine fornita in merito al caso del grattacielo Torre della Regione, è rappresentata da un piano sempre perpendicolare al solaio del piano trentesimo, ma non più parallelo ai precedenti, ma ad essi perpendicolare.

Anche in questo caso, la scelta non è risultata casuale, in quanto il piano considerato passa sempre per il centro di un filare di bocchette di mandata, ma non più nella posizione del precedente, non frontalmente, ma lateralmente rispetto ai nuclei dell'edificio.

In questa ultima situazione, ci limiteremo a riportare in figura l'immagine del risultato della simulazione, senza dilungarci in ulteriori spiegazioni, in quanto identiche a quelle affermate nel caso immediatamente precedente relativo alle bocchette di mandata.

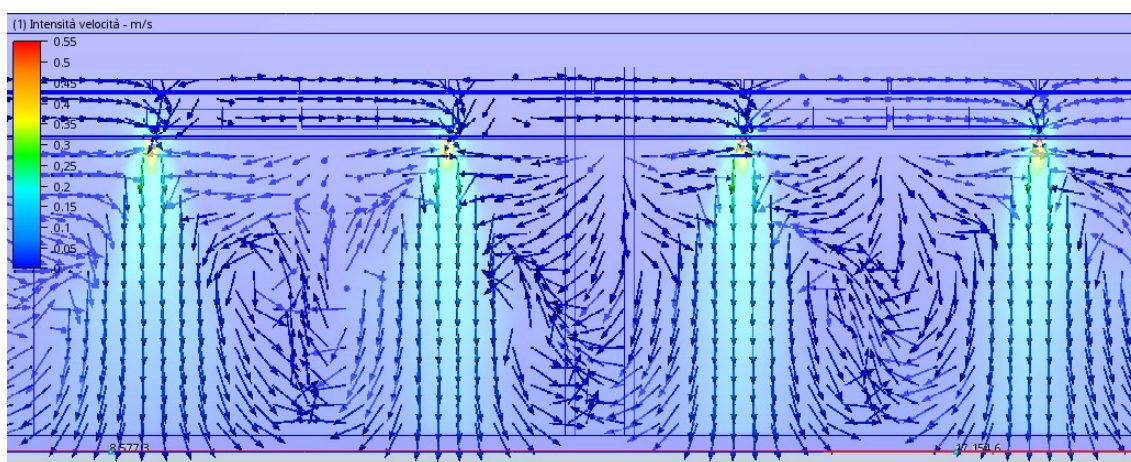


Figura 79: Piano perpendicolare al solaio e passante per il centro del filare di bocchette di mandata perpendicolare a quello delle bocchette di aspirazione.

4.2 CASO FABBRICATO FCA SITO A GRUGLIASCO (TO)

Anche per quanto concerne il caso del fabbricato industriale di proprietà FCA sito a Grugliasco (To), procederemo similmente a quanto avvenuto per il caso precedente.

Occorre sottolineare sin da subito come in questa situazione non vi siano state problematiche gravi come per il grattacielo Torre della Regione: la geometria sicuramente più semplice, ma soprattutto le dimensioni limitate della porzione di edificio presa in considerazione hanno infatti limitato la necessità di diminuire la complessità del modello originale.

Verrà ora analizzata nel dettaglio la procedura che, a partire dal modello generato attraverso il software Autodesk Inventor, ha portato all'analisi computazionale dinamica.

4.2.1 ESPORTAZIONE INIZIALE DEL MODELLO E RELATIVE PROBLEMATICHE

Come anticipato nell'introduzione a questa sezione, non dedicheremo molto spazio alle problematiche relative ai casi dei fabbricati industriali; Autodesk Inventor si è infatti rilevato maggiormente compatibile con il software di simulazione fluidodinamica Autodesk CFD.

Le uniche operazioni di semplificazione adottate per favorire una corretta esportazione del modello di progettazione all'interno di Autodesk CFD, sono infatti solamente quelle inerenti alla modifica di alcune geometrie circolari che sono state sostituite con geometrie lineari come quelle rettangolari.

Il passo successivo all'interno di questo paragrafo sarà quindi di analizzare singolarmente le sotto casistiche che sono riscontrate nello stesso fabbricato:

- BOCCHETTA 40 cm x 40 cm SINGOLA TEORICA.
- BOCCHETTA 40 cm x 40 cm SINGOLA TEORICA CON CONDIZIONI REALI ALL'INTORNO.
- GRUPPO DI QUATTRO BOCCHETTE 40 cm x 40 cm TEORICHE CON CONDIZIONI REALI AL CONTORNO.

- BOCCHETTA 40 cm x 40 cm REALE CON CONDIZIONI REALI AL CONTORNO.

Di seguito verranno infatti fornite le simulazioni fluidodinamiche relative ai vettori di intensità di velocità all'interno di una porzione dell'ambiente preso in considerazione.

Ogni schema fluidodinamico verrà quindi commentato e confrontato con gli altri.

4.2.2 BOCCHETTA 40 cm x 40 cm SINGOLA TEORICA

La prima simulazione tramite Autodesk CFD è stata quella relativa ad una singola bocchetta teorica del fabbricato AGAP di Grugliasco (TO).

Innanzitutto, verranno fornite le indicazioni relative a materiali utilizzati, successivamente verranno descritte le condizioni al contorno prima, e quelle teoriche poi attribuite al modello; infine verrà evidenziato il raggiungimento della convergenza delle varie grandezze fisiche considerate dal simulatore, fino alla descrizione del risultato a simulazione completa.

Questo procedimento verrà seguito per ogni singola simulazione.

a) CARATTERISTICHE GEOMETRICHE MODELLO

Per quanto concerne la caratteristiche geometriche del modello non tratteremo nuovamente l'argomento, ma si rimanda al capitolo precedente.

b) CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

I materiali attribuiti alle varie componenti la bocchetta sono essenzialmente due²¹:

²¹ Risulta tuttavia necessaria una precisazione: in questa prima tipologia di bocchette, non abbiamo utilizzato una scelta di materiale solido per la zona avvolgente le bocchette e sottostante la pavimentazione, si può infatti notare, dalle immagini che verranno riprodotte di seguito, come i flussi di aria rappresentati dai vettori di intensità di velocità risultino presenti in maniera massiva anche nella zona citata.

Tale atteggiamento risulta però poco coerente con la realtà dei fatti, dal secondo caso in poi, si è quindi optato per l'attribuzione di un materiale dalle caratteristiche solide ed affini a quelle di materiale da riempimento tipiche della zona reale sottostante il pavimento.

- ACCIAIO sia per quanto riguarda la bocchetta, sia per la doppia griglia, sia per il cavedio. Occorre inoltre precisare che per una semplificazione della simulazione anche al pavimento è stato attribuito il materiale acciaio. Sono state introdotte delle pareti fittizie dello spessore di 20 mm al volume di controllo per favorire una più corretta interpretazione dello spazio da parte del software.
- ARIA per tutti i volumi non occupati da materiale allo stato solido, ovvero sia per il volume interno dell'ambiente costruito, sia per il volume interno al cavedio, sia per il volume all'interno delle bocchette di ventilazioni e dei condotti verticali.

c) CONDIZIONI AL CONTORNO

Le condizioni al contorno relative a questa simulazione coinvolgono due grandezze fisiche:

- Pressione relativa alla superficie superiore del volume di controllo pari a 0 Pascal.
- Portata volumetrica relativa alla superficie inferiore della bocchetta (superficie circolare di diametro pari a 200 mm), pari a $604 \text{ m}^3/\text{h}$ e con direzione perpendicolare alla superficie stessa e diretta verso il basso.

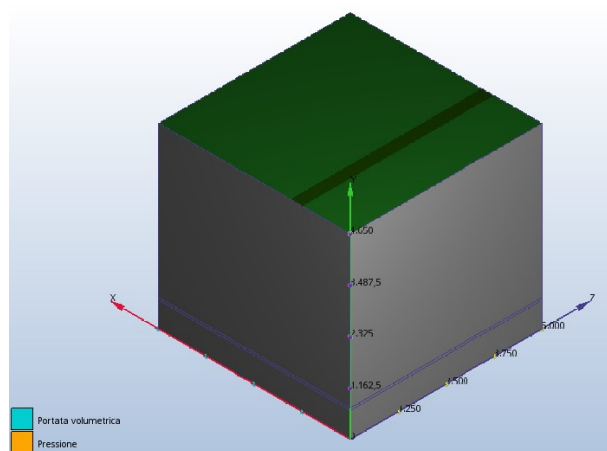


Figura 80: Rappresentazione del volume di controllo con condizione di contorno relativa alla superficie superiore a pressione di 0 Pa.

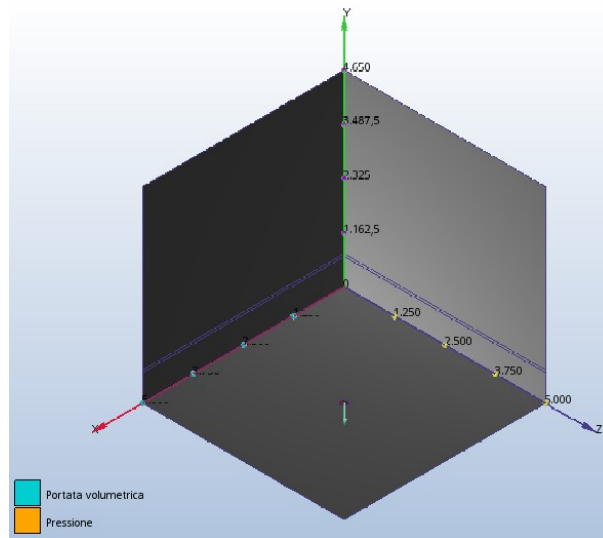


Figura 81: Rappresentazione del volume di controllo con condizione di contorno relativa alla superficie circolare con portata volumetrica pari a $604,8 \text{ m}^3/\text{h}$.

d) CONDIZIONI INIZIALI

Per quanto riguarda le condizioni iniziali, l'unica grandezza fisica che abbiamo presa in considerazione è stata la temperatura dell'aria ed in particolare i valori attribuiti sono stati:

- Temperatura aria interna in tutto l'ambiente di simulazione pari a 20°C .

e) DIMENSIONAMENTO MESH

Una volta definite le condizioni al contorno, è necessario il procedimento di semplificazione della geometria, noto come “mesh”, di cui si è già trattato in precedenza nell'introduzione generale al percorso seguito nella simulazione energetica in Autodesk CFD.

Come già anticipato, sono state necessarie delle semplificazioni delle geometrie a priori, ovvero precedentemente al processo di dimensionamento automatico fornito dal programma, per evitare che particolare nodi coinvolgente geometrie circolari, cilindriche e coniche, impedissero i passaggi successivi del programma, ovvero la simulazione energetica vera e propria.

Non verranno trattate in maniera specifica tali problematiche, in quanto abbastanza ripetitive e di utilità limitata ai fini della comprensione del progetto.

f) RISOLUZIONE E GESTIONI RISOLUTORI

Come preannunciato, il passaggio successivo e finale della simulazione è stato il controllo dei dati introdotti nei precedenti step, per poi avviare la simulazione.

Si è scelto un numero costante di iterazioni del processo pari a 1000, per ognuno dei casi studio sottoposti al software; il numero è sembrato adatto in quanto non eccessivamente elevato da inficiare un fluido proseguimento delle operazioni, e non così basso da risultare inattendibile.

Di seguito verranno fornite le immagini dei risultati dei casi considerati, in questa prima simulazione verrà anche evidenziata la schermata di visualizzazione delle impostazioni di risoluzione, che in quanto uguale per tutte, non verrà più riportata.

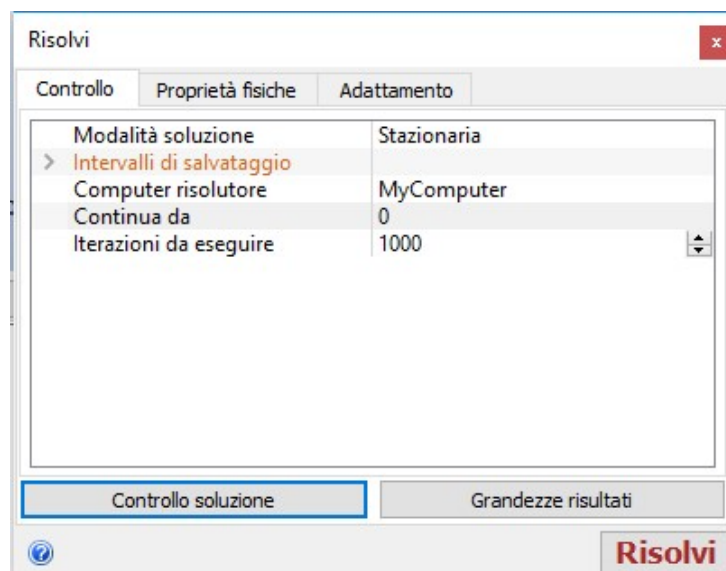


Figura 82: Schermata gestione risolutori.

g) **RISULTATI FINALI**

Ecco ora presentate le immagine dei risultati, con successive delucidazioni e considerazioni finali.

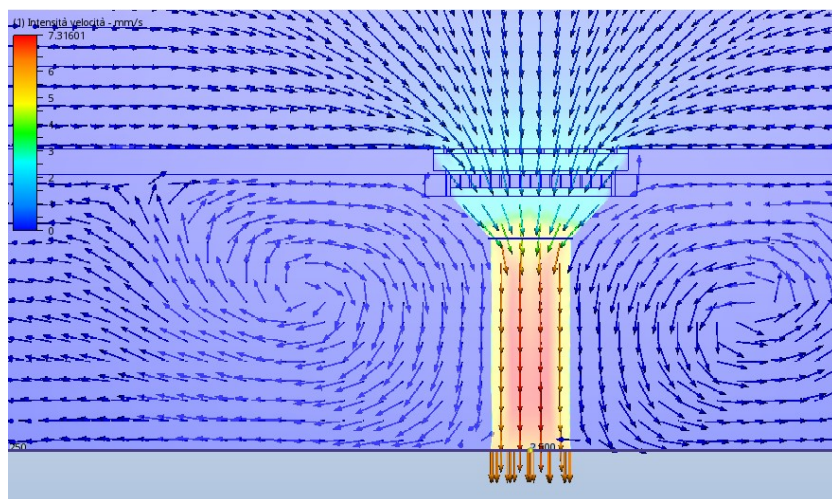


Figura 83: Sezione verticale nel centro della bocchetta 40 cm x 40 cm teorica.

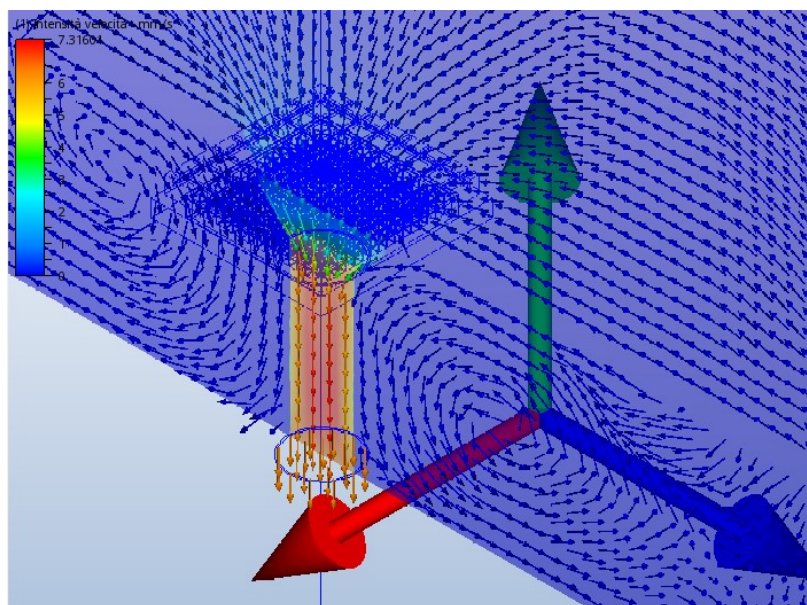


Figura 84: Assonometria bocchetta 40 cm x 40 cm teorica.

E' possibile osservare nelle due figure precedenti, in maniera generale nella prima, localmente nella seconda, come la grandezza fisica presa in esame, che in tutto il lavoro è stata l'intensità di velocità dell'aria, sia in valore assoluto maggiore nell'area di estrazione dell'aria vera e propria.

Limitatamente all'interno della bocchetta stessa, raggiunge infatti il massimo valore di progetto che è stato attribuito a priori, ovvero 6 m/s, ed in alcune aree anche superiore, probabilmente a seguito di fenomeni di ricircolo creatisi nell'intorno.

E' altresì possibile notare che nella zona sottostante il pavimento di cui si è parlato in precedenza, sono presenti moti dell'aria che nella realtà non dovrebbero sussistere; tale fenomeno è dovuto alla non attribuzione di una caratteristica di stato solido al materiale di tale zona.

Risulterà pertanto più veritiera, la successiva indagine, in cui appunto verrà attribuita la caratteristica di materiale allo stato solido, a tutta la zona sottostante la pavimentazione nell'intorno della bocchetta stessa.

Ciò detto, in questa prima disamina, il dato empirico sicuramente più importante, non è rappresentato dagli andamenti relativi a direzione e verso dei vettori intensità di velocità dell'aria, ma il valore assoluto che si è ottenuto all'interno della bocchetta e nell'immediato intorno al di sopra della quota pavimento.

Dei valori all'interno della bocchetta si è già discusso in precedenza, ma il dato sicuramente più interessante è sicuramente quello nell'intorno della bocchetta, in particolare si è fissata l'attenzione ad un quota di circa 30 cm dal pavimento: nell'area direttamente sovrastante la bocchetta, che rappresenta la zona con più alta criticità relativamente al "draft risk", si raggiunge un valore assoluto massimo inferiore ai 2 m/s, valore che possiamo ritenere accettabile per la salute dei lavoratori.

Ancora più interessante risulta essere il risultato ottenuto alla stessa quota di 30 cm dal pavimento, ma non assialmente alla bocchetta; si può infatti notare che ad una distanza di circa 0.5 metri dall'asse i valori assoluti della grandezza sono inferiori all'unità, risultato assolutamente confortante in merito al "draft risk".

4.2.3 BOCCHETTA 40 cm x 40 cm SINGOLA TEORICA CON CONDIZIONI REALI ALL'INTORNO

La seconda simulazione inerente al fabbricato di Grugliasco tramite Autodesk CFD è stata quella relativa ad una singola bocchetta teorica dell'edificio, attribuendo però la caratteristica di materiale allo stato solido all'interno della bocchetta e sottostante il pavimento.

Verrà seguito lo stesso processo indicato quando è stata trattata la prima tipologia di bocchette, a partire dalle caratteristiche geometriche del modello.

a) CARATTERISTICHE GEOMETRICHE MODELLO

La tipologia di bocchetta considerata in questa analisi è identica alla prima, riportiamo quindi le rappresentazioni in cad di pianta e prospetto della bocchetta 40x40 già enunciate in precedenza.

b) CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

I materiali attribuiti alle varie componenti la bocchetta sono essenzialmente due, ed anche in questo caso si tratta degli stessi attribuiti alla bocchetta teorica della prima analisi, tranne per la parte sottostante il pavimento:

- **ACCIAIO** sia per quanto riguarda la bocchetta, sia per la doppia griglia, sia per il cavedio. Occorre inoltre precisare che per una semplificazione della simulazione anche al pavimento è stato attribuito il materiale acciaio. Sono state introdotte delle pareti fittizie dello spessore di 20 mm al volume di controllo per favorire una più corretta interpretazione dello spazio da parte del software.
- **ARIA** per tutti i volumi non occupati da materiale allo stato solido, ovvero sia per il volume interno dell'ambiente costruito, sia per il volume interno al cavedio, sia per il volume all'interno delle bocchette di ventilazioni e dei condotti verticali.
- **CALCESTRUZZO** per il volume sottostante la pavimentazione, più vicino alla realtà rispetto al materiale aria della simulazione precedente.

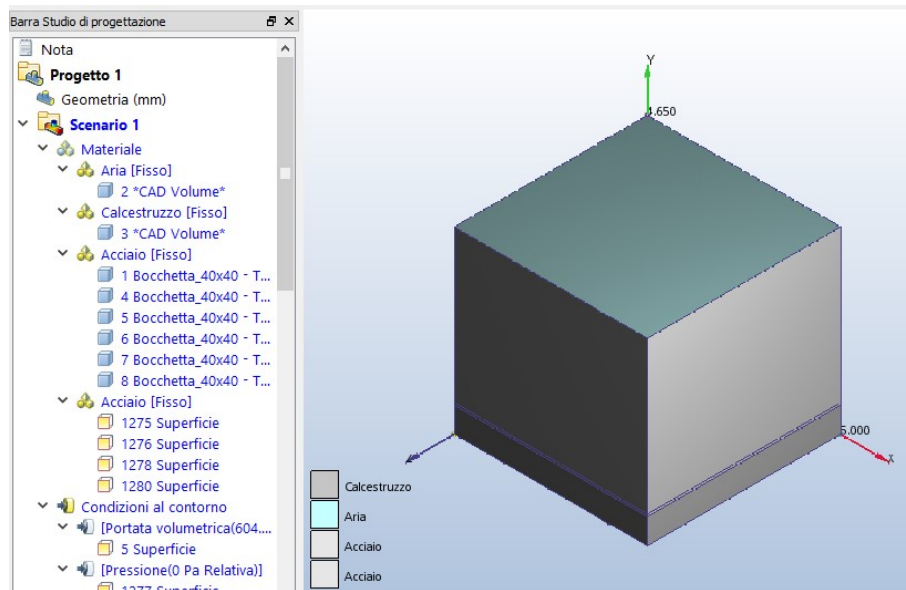


Figura 85: Schermata attribuzione materiali.

c) CONDIZIONI AL CONTORNO

Le condizioni al contorno relative a questa simulazione coinvolgono due grandezze fisiche:

- Pressione relativa alla superficie superiore del volume di controllo pari a 0 Pascal.
- Portata volumetrica relativa alla superficie inferiore della bocchetta (superficie circolare di diametro pari a 200 mm), pari a $604 \text{ m}^3/\text{h}$ e con direzione perpendicolare alla superficie stessa e diretta verso il basso.

d) CONDIZIONI INIZIALI

Per quanto riguarda le condizioni iniziali, l'unica grandezza fisica che abbiamo presa in considerazione è stata la temperatura dell'aria ed in particolare i valori attribuiti sono stati:

- Temperatura aria interna in tutto l'ambiente di simulazione pari a 20° C .

e) DIMENSIONAMENTO MESH

Una volta definite le condizioni al contorno, è necessario il procedimento di semplificazione della geometria, noto come “mesh”, di cui si è già trattato in precedenza nell’introduzione generale al percorso seguito nella simulazione energetica in Autodesk CFD.

Anche in questo caso si è scelto un numero costante di iterazioni del processo pari a 1000, per ognuno dei casi studio sottoposti al software; il numero è sembrato adatto in quanto non eccessivamente elevato da inficiare un fluido proseguimento delle operazioni, e non così basso da risultare inattendibile.

f) RISOLUZIONE E GESTIONI RISOLUTORI

Come preannunciato, il passaggio successivo e finale della simulazione è stato il controllo dei dati introdotti nei precedenti step, per poi avviare la simulazione.

Si è scelto un numero costante di iterazioni del processo pari a 1000, per ognuno dei casi studio sottoposti al software; il numero è sembrato adatto in quanto non eccessivamente elevato da inficiare un fluido proseguimento delle operazioni, e non così basso da risultare inattendibile.

g) RISULTATI FINALI

Di seguito verranno fornite le immagini dei risultati dei casi considerati.

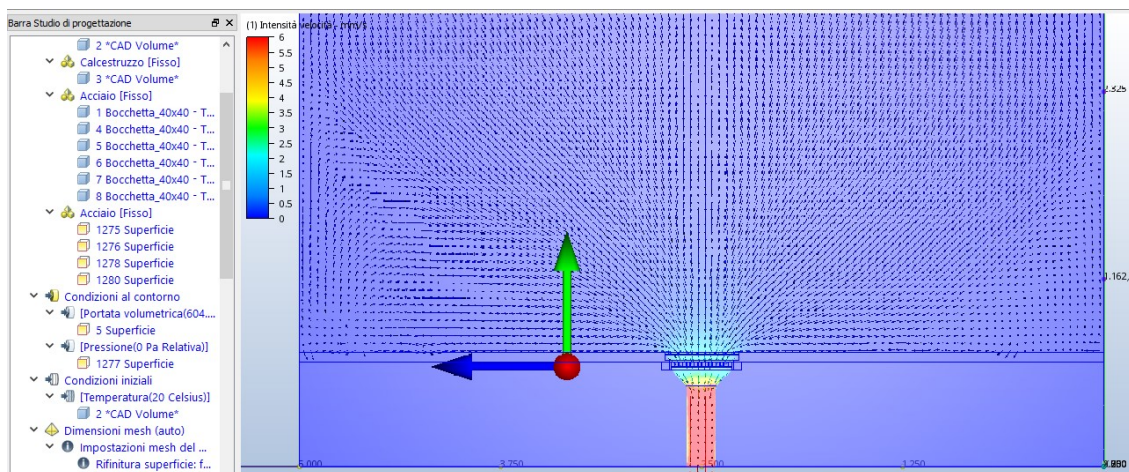


Figura 86: Sezione verticale nel centro della bocchetta 40 cm x 40 cm con condizioni reali nell'intorno.

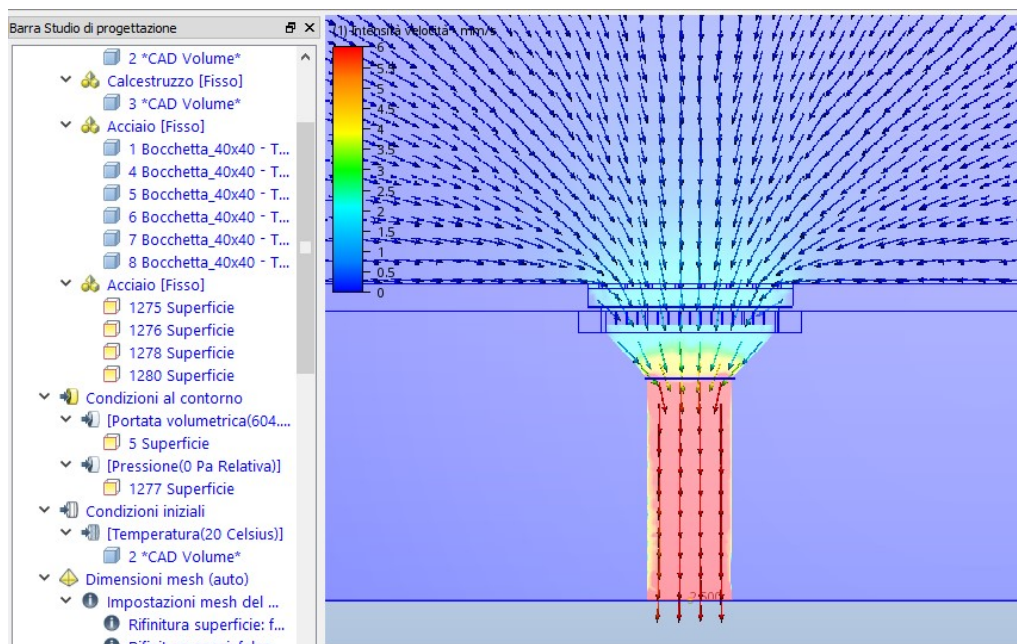


Figura 87: Sezione verticale nel centro della bocchetta 40 cm x 40 cm (dettaglio).

Nelle figure precedenti si è cercato di ottenere progressivamente un grado di dettaglio superiore; dapprima in sezione verticale, successivamente in sezione orizzontale.

In particolare si può evincere in entrambe le situazioni, come i risultati differiscono rispetto al caso trattato in precedenza, nell'area sottostante il pavimento a cui si è attribuito la caratteristica materiale solido calcestruzzo.

Infatti non si assiste più alla movimentazione d'aria anche nella parte inferiore, ma alla assoluta stasi nell'intorno della bocchetta e in tutta l'area suddetta.

La simulazione non tiene conto delle perdite dovute ad eventuali carenze di prestazione dei materiali, di non perfetta regola d'arte, o di errori nella posa; tuttavia rimane comunque una simulazione decisamente più plausibile rispetto alla precedente.

Per quanto riguarda invece i settori caratterizzati da movimentazioni dell'aria di estrazione, si può notare che sia la direzione, sia il verso, sia il valore assoluto della grandezza fisica intensità di velocità dell'aria siano del tutto analoghi al caso precedente; verranno pertanto evitate ripetizioni delle considerazioni fatti sul caso studio precedente, ma ci limiteremo a porre l'accento sugli aspetti fondamentali già annunciati in precedenza.

Occorre notare in prima battuta l'assenza di discomfort locale dovuta al draft risk nelle immediate vicinanze della bocchetta, sia assialmente sia a distanze progressivamente maggiori, dove non si evincono ricircoli o vortici di aria e dove la velocità dell'aria ha modulo inferiore all'unità, fino a raggiungere valori quasi trascurabili a circa 30 cm dalla quota pavimento.

In secondo ed ultimo luogo, come è lecito aspettarsi, le condizioni più critiche sono all'interno della bocchetta stessa, dove in la grandezza fisica assume il valore più alto in prossimità del valore di progetto, anche in questo caso posto pari a 6 m/s, e proporzionalmente inferiore all'aumentare della distanza.

4.2.4 GRUPPO DI QUATTRO BOCCHETTE 40 cm x 40 cm TEORICHE CON CONDIZIONI REALI AL CONTORNO

La terza simulazione nell'ambito del fabbricato di Grugliasco tramite Autodesk CFD è stata quella relativa ad un gruppo di quattro bocchette teoriche distribuite a rettangolo nel suddetto edificio, attribuendo però la caratteristica di materiale allo stato solido all'intorno della bocchetta e sottostante il pavimento.

Verrà seguito lo stesso processo indicato quando è stata trattata la prima tipologia di bocchette, a partire dalle caratteristiche geometriche del modello.

a) CARATTERISTICHE GEOMETRICHE MODELLO

La tipologia di bocchetta considerata in questa analisi è identica alla prima, riportiamo quindi le rappresentazioni in cad di pianta e prospetto della bocchetta 40x40 già enunciate in precedenza.

La differenza rispetto ai modelli precedenti, non risiede nella geometria delle singole bocchette, ma bensì nella geometria generale del modello considerato: non ci si è limitati infatti all'analisi di una singola bocchetta, ma di un gruppo di quattro bocchette distribuite a rettangolo all'interno della stessa destinazione d'uso, che rimane l'area dedicata alla finitura degli autoveicoli del fabbricato sopracitato.

Di seguito verranno pertanto fornite le caratteristiche in termini di distanze e posizionamento del gruppo di bocchette di aspirazione; non verranno ribadite quelle delle singole bocchette.

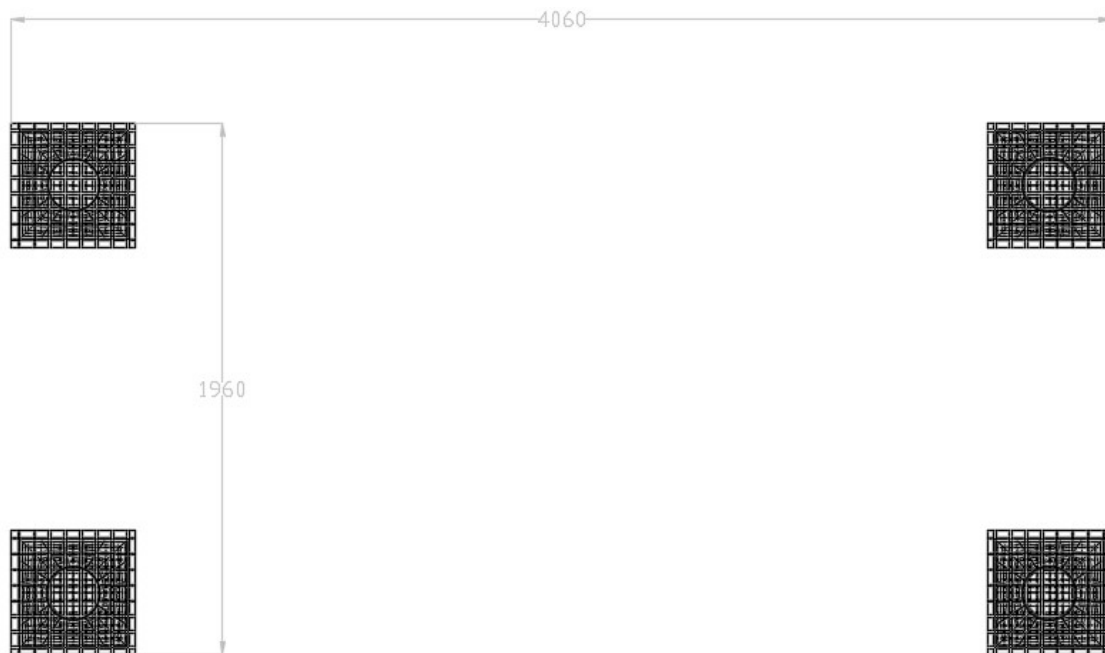


Figura 88: Pianta distribuzione gruppo di modello di 4 bocchette 40 cm x 40 cm [mm].



b) CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Anche in questa situazione la tipologia dei materiali è la stessa utilizzata in precedenza, naturalmente ripetuta per ognuna delle quattro bocchette 40x40:

- **ACCIAIO** sia per quanto riguarda la bocchetta, sia per la doppia griglia, sia per il cavedio. Occorre inoltre precisare che per una semplificazione della simulazione anche al pavimento è stato attribuito il materiale acciaio. Sono state introdotte delle pareti fittizie dello spessore di 20 mm al volume di controllo per favorire una più corretta interpretazione dello spazio da parte del software.
- **ARIA** per tutti i volumi non occupati da materiale allo stato solido, ovvero sia per il volume interno dell'ambiente costruito, sia per il volume interno al cavedio, sia per il volume all'interno delle bocchette di ventilazioni e dei condotti verticali.
- **CALCESTRUZZO** per il volume sottostante la pavimentazione, più vicino alla realtà rispetto al materiale aria della simulazione precedente.

c) CONDIZIONI AL CONTORNO

Le condizioni al contorno relative a questa simulazione coinvolgono due grandezze fisiche:

- Pressione relativa alla superficie superiore del volume di controllo pari a 0 Pascal.
- Velocità dell'aria con direzione perpendicolare alla superficie circolare delle bocchette e diretta verso il basso, pari a 6 m/s, condizione ribadita per ciascuna delle quattro bocchette prese in esame.

d) CONDIZIONI INIZIALI

Per quanto riguarda le condizioni iniziali, l'unica grandezza fisica che abbiamo presa in considerazione è stata la temperatura dell'aria ed in particolare i valori attribuiti sono stati:

- Temperatura aria interna in tutto l'ambiente di simulazione pari a 20° C.

e) DIMENSIONAMENTO MESH

Una volta definite le condizioni al contorno, è necessario il procedimento di semplificazione della geometria, noto come “mesh”, di cui si è già trattato in precedenza nell'introduzione generale al percorso seguito nella simulazione energetica in Autodesk CFD.

Anche in questo caso si è scelto un numero costante di iterazioni del processo pari a 1000, per ognuno dei casi studio sottoposti al software; il numero è sembrato adatto in quanto non eccessivamente elevato da inficiare un fluido proseguimento delle operazioni, e non così basso da risultare inattendibile.

f) RISOLUZIONE E GESTIONI RISOLUTORI

Come preannunciato, il passaggio successivo e finale della simulazione è stato il controllo dei dati introdotti nei precedenti step, per poi avviare la simulazione.

Si è scelto un numero costante di iterazioni del processo pari a 1000, per ognuno dei casi studio sottoposti al software; il numero è sembrato adatto in quanto non eccessivamente elevato da inficiare un fluido proseguimento delle operazioni, e non così basso da risultare inattendibile.

g) RISULTATI FINALI

Di seguito verranno fornite le immagini dei risultati dei casi considerati.

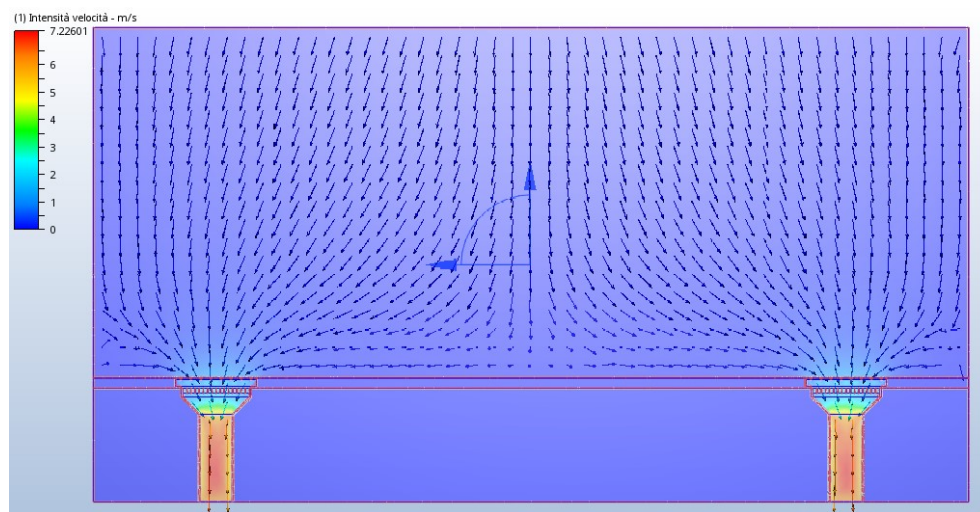


Figura 89: Sezione verticale passante per il centro di due bocchette del gruppo di modello.

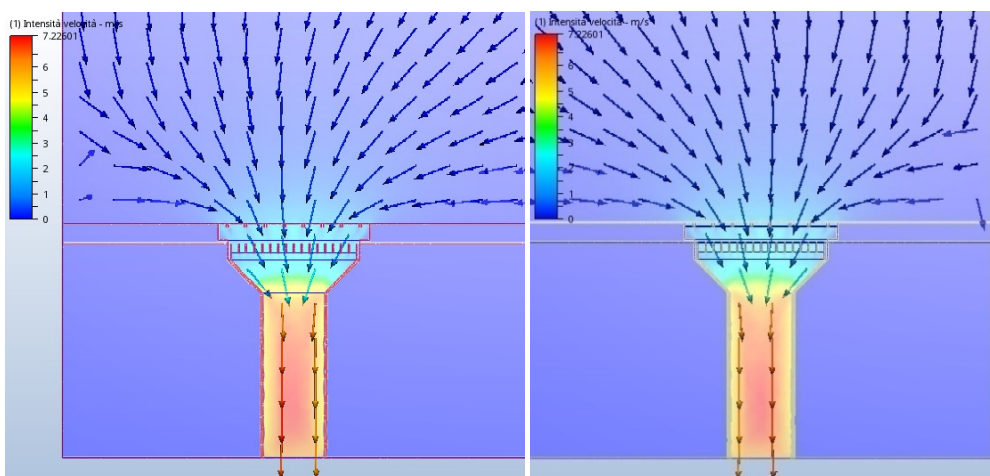


Figura 90: Sezioni in dettaglio delle bocchette di figura 82.

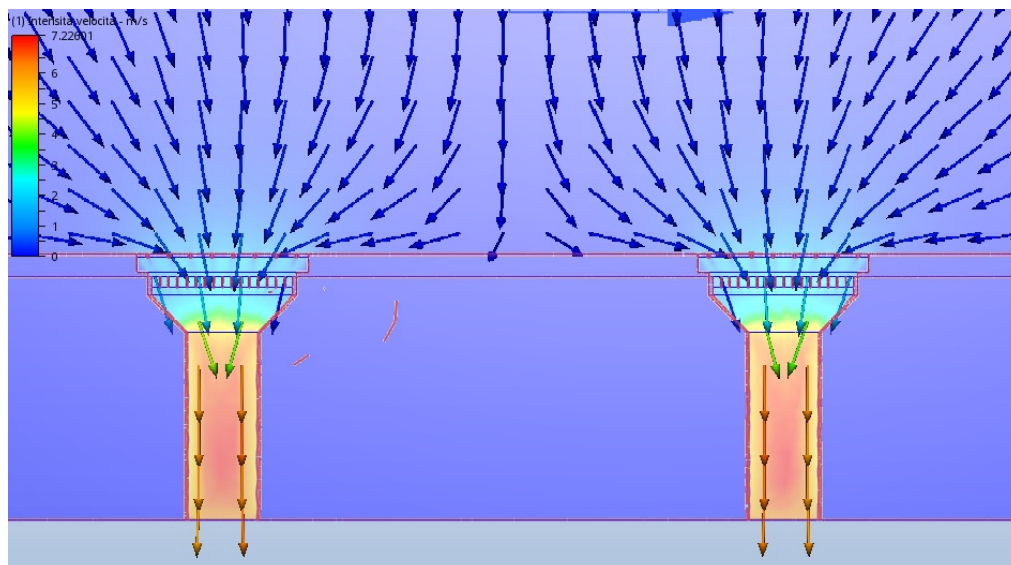


Figura 91: Comportamento in prossimità delle due bocchette sul lato corto della distribuzione.

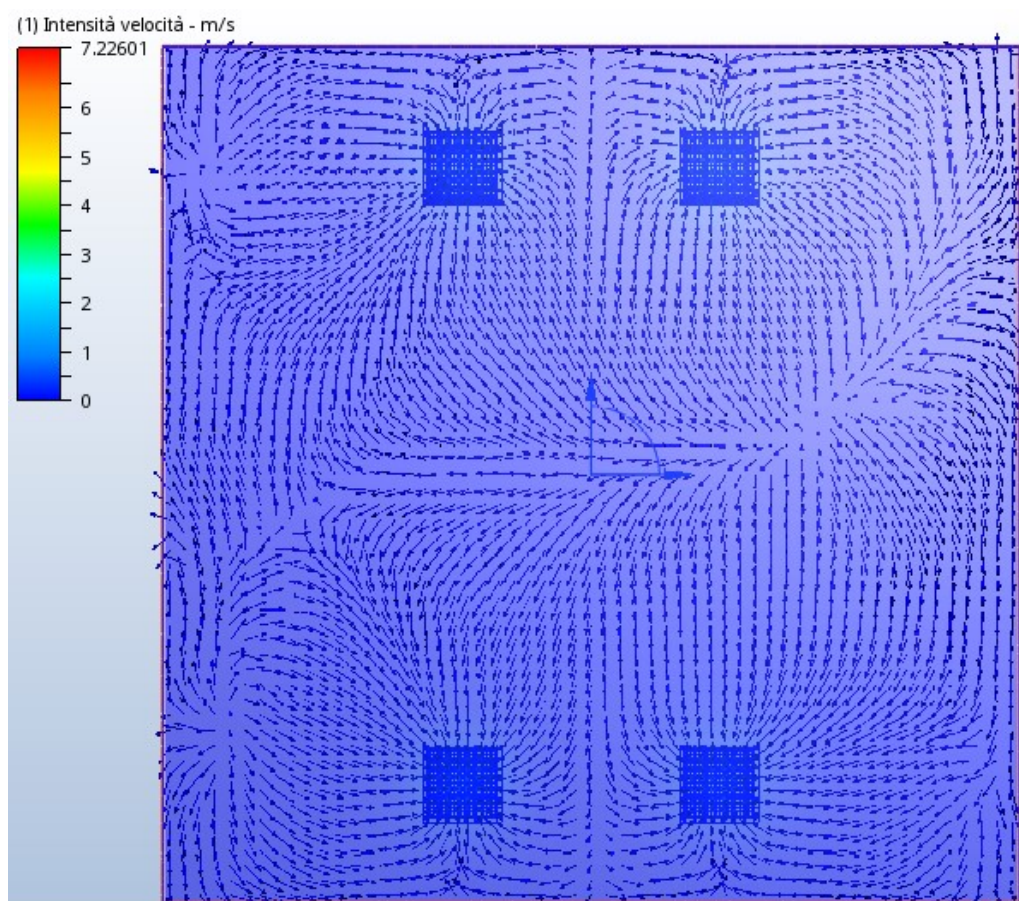


Figura 92: Vista dall'alto del gruppo di modello delle 4 bocchette.

Nelle figure precedenti si è cercato di ottenere progressivamente un grado di dettaglio superiore; dapprima in sezione verticale, successivamente in sezione orizzontale.

In particolare si può evincere in entrambe le situazioni, come i risultati differiscono rispetto al caso trattato in precedenza, nell'area sottostante il pavimento a cui si è attribuito la caratteristica materiale solido calcestruzzo.

Infatti non si assiste più alla movimentazione d'aria anche nella parte inferiore, ma alla assoluta stasi nell'intorno della bocchetta e in tutta l'area suddetta.

La simulazione non tiene conto delle perdite dovute ad eventuali carenze di prestazione dei materiali, di non perfetta regola d'arte, o di errori nella posa; tuttavia rimane comunque una simulazione decisamente più plausibile rispetto alla precedente.

Per quanto riguarda invece i settori caratterizzati da movimentazioni dell'aria di estrazione, si può notare che sia la direzione, sia il verso, sia il valore assoluto della grandezza fisica intensità di velocità dell'aria siano del tutto analoghi al caso precedente; verranno pertanto evitate ripetizioni delle considerazioni fatti sul caso studio precedente, ma ci limiteremo a porre l'accento sugli aspetti fondamentali già annunciati in precedenza.

Occorre notare in prima battuta l'assenza di discomfort locale dovuta al "draft risk" nelle immediate vicinanze della bocchetta, sia assialmente sia a distanze progressivamente maggiori, dove non si evincono ricircoli o vortici di aria e dove la velocità dell'aria ha modulo inferiore all'unità, fino a raggiungere valori quasi trascurabili a circa 30 cm dalla quota pavimento.

In secondo ed ultimo luogo, come è lecito aspettarsi, le condizioni più critiche sono all'interno della bocchetta stessa, dove in la grandezza fisica assume il valore più alto in prossimità del valore di progetto, anche in questo caso posto pari a 6 m/s, e proporzionalmente inferiore all'aumentare della distanza.

4.2.5 BOCCHETTA 40 cm x 40 cm REALE CON CONDIZIONI REALI AL CONTORNO

Prima delle definizioni delle caratteristiche è necessaria una breve introduzione relativamente a questa tipologia di bocchette, infatti al contrario di tutte le precedenti, in questa tipologia ed in quella successiva, verranno utilizzati dei dati di input non più di progetto, e dunque teorici, ma bensì reali, in quanto valutati attraverso opportuna strumentazione in grado di valutare l'effettiva entità della grandezza fisica intensità di velocità dell'aria.

Risulta pertanto evidente che anche i dati di output risulteranno pertanto più affidabili rispetto alle simulazioni precedenti.

Verranno ora fornite delle tabelle che riproducono i valori inseriti nell'analisi con Autodesk CFD, e che non verranno più riproposti in seguito.

A tal proposito dapprima verrà definito il Sistema di riferimento considerato, e successivamente i valori puntuali di intensità dell'aria rilevati al di sopra di ogni bocchetta in questione.

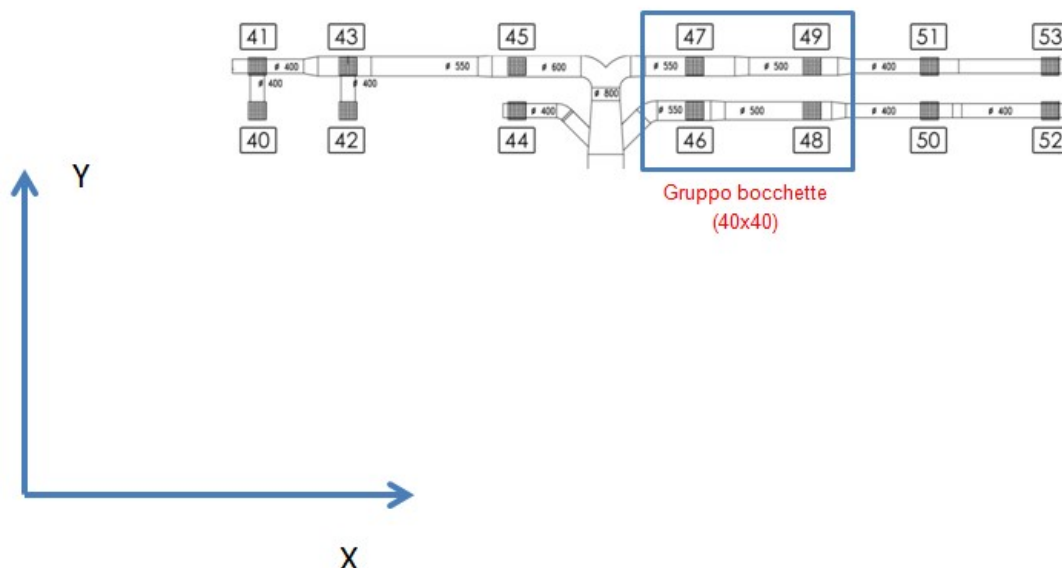


Figura 93: Pianta distribuzione gruppo di bocchette considerate nella simulazione.

La bocchetta presa in considerazione nella prima analisi singola, risulta essere la numero 46, riporteremo pertanto in questa analisi solamente i valori rilevati per la corrente bocchetta.

Le altre tre della quadrupla, verranno poi analizzate successivamente nella sezione ad esse dedicata.

a) CARATTERISTICHE GEOMETRICHE MODELLO

La tipologia di bocchetta considerata in questa analisi è identica alla prima, riportiamo quindi le rappresentazioni in cad di pianta e prospetto della bocchetta 40x40 già enunciate in precedenza.

b) CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

I materiali attribuiti alle varie componenti la bocchetta sono essenzialmente due, ed anche in questo caso si tratta degli stessi attribuiti alla bocchetta teorica della prima analisi, tranne per la parte sottostante il pavimento:

- ACCIAIO sia per quanto riguarda la bocchetta, sia per la doppia griglia, sia per il cavedio. Occorre inoltre precisare che per una semplificazione della simulazione anche al pavimento è stato attribuito il materiale acciaio. Sono state introdotte delle pareti fittizie dello spessore di 20 mm al volume di controllo per favorire una più corretta interpretazione dello spazio da parte del software.
- ARIA per tutti i volumi non occupati da materiale allo stato solido, ovvero sia per il volume interno dell'ambiente costruito, sia per il volume interno al cavedio, sia per il volume all'interno delle bocchette di ventilazioni e dei condotti verticali.
- CALCESTRUZZO per il volume sottostante la pavimentazione, più vicino alla realtà rispetto al materiale aria della simulazione precedente.

c) CONDIZIONI AL CONTORNO

Le condizioni al contorno relative a questa simulazione coinvolgono due grandezze fisiche:

- Pressione relativa alla superficie superiore del volume di controllo pari a 0 Pascal.
- Velocità dell'aria con direzione perpendicolare alla superficie circolare delle bocchette e diretta verso il basso, pari ai valori rilevati localmente in ciascuno degli 81 punti che verranno raffigurati nella figura successiva.

Di seguito vengono riportati in tabella i valori rilevati in 81 punti della bocchetta 40 cm x 40 cm presa in considerazione.

Si può notare, come sia per l'asse delle ascisse, sia per quello delle ordinate, i valori di intensità di velocità dell'aria considerati sono quelli che si trovano completamente all'interno del quadrato 40 cm x 40 cm rappresentato dalla superficie della bocchetta stessa

		BOCCHETTA N°46																	
Y		BOCCHETTA																	
	0,8	2,7	2,60	2,47	2,29	2,08	1,82	1,52	1,18	0,8	0,38	-0,08	-0,58	-1,13	-1,71	-2,33	-3,00	-3,70	
	0,75	3,24	4,02	3,64	3,72	3,74	3,68	3,56	3,38	2,51	2,80	2,42	1,97	1,45	0,86	0,21	-0,40	-2,85	
	0,7	3,57	4,21	5,16	4,97	5,16	5,24	5,20	5,06	3,99	4,43	3,94	3,35	2,64	1,82	2,39	-0,38	-2,06	
	0,65	3,70	4,53	5,06	6,12	6,20	6,46	6,57	6,53	5,25	5,99	5,49	4,84	4,03	4,65	2,06	0,44	-1,33	
	0,6	3,63	4,64	5,36	5,92	6,9	7,19	7,41	7,46	6,29	7,01	6,52	5,86	6,4	4,11	2,92	1,17	-0,67	
	0,55	3,35	4,54	5,43	6,15	6,73	7,50	7,88	8,01	7,10	7,67	7,22	7,63	5,87	4,94	3,65	1,81	-0,08	
	0,5	2,87	4,22	5,28	6,14	6,86	7,42	7,91	8,31	7,69	8,10	8,34	7,21	6,55	5,61	4,25	2,36	0,44	
	0,45	2,19	3,68	4,91	5,91	6,76	7,43	7,96	8,15	8,06	8,53	8,09	7,68	7,05	6,11	4,72	2,81	0,90	
	0,4	1,3	2,92	4,32	5,50	6,48	7,23	7,77	8,09	8,2	8,09	7,77	7,23	6,48	5,50	4,32	2,92	1,3	
	0,35	0,21	1,97	3,48	4,76	5,86	6,76	7,52	7,35	8,12	8,07	8,32	8,02	7,48	6,62	5,29	3,46	1,63	
0,3	-1,08	0,79	2,43	3,84	5,07	6,08	5,99	7,50	7,82	7,96	7,76	7,89	7,42	6,62	5,37	3,65	1,89		
0,25	-2,58	-0,61	1,16	2,69	4,04	4,10	6,07	6,75	7,29	7,42	7,42	7,27	7,17	6,47	5,34	3,75	2,09		
0,2	-4,28	-2,22	-0,34	1,32	1,7	3,99	5,01	5,80	6,54	6,70	6,81	6,69	6,6	6,15	5,17	3,76	2,23		
0,15	-6,18	-4,04	-2,07	-1,22	1,27	2,64	3,79	4,70	5,56	5,84	6,06	6,06	5,83	5,75	4,87	3,68	2,29		
0,1	-8,28	-6,08	-4,66	-2,08	-0,35	1,15	2,41	3,46	4,37	4,85	5,21	5,33	5,23	4,90	4,71	3,51	2,29		
0,05	-10,59	-8,62	-6,06	-4,00	-2,17	-0,56	0,83	1,99	2,94	3,65	4,14	4,41	4,46	4,29	3,89	3,50	2,23		
0	-13,1	-10,56	-8,23	-6,11	-4,20	-2,51	-1,03	0,24	1,3	2,14	2,78	3,19	3,40	3,39	3,18	2,74	2,1		
		BOCCHETTA																	
		0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	
		X																	

Figura 94: Tabella dei dati inseriti nella simulazione relativamente alla bocchetta n° 46. [m/s]

d) CONDIZIONI INIZIALI

Per quanto riguarda le condizioni iniziali, l'unica grandezza fisica che abbiamo presa in considerazione è stata la temperatura dell'aria ed in particolare i valori attribuiti sono stati:

- Temperatura aria interna in tutto l'ambiente di simulazione pari a 20° C.

e) DIMENSIONAMENTO MESH

Una volta definite le condizioni al contorno, è necessario il procedimento di semplificazione della geometria, noto come “mesh”, di cui si è già trattato in precedenza nell'introduzione generale al percorso seguito nella simulazione energetica in Autodesk CFD.

Anche in questo caso si è scelto un numero costante di iterazioni del processo pari a 1000, per ognuno dei casi studio sottoposti al software; il numero è sembrato adatto in quanto non eccessivamente elevato da inficiare un fluido proseguimento delle operazioni, e non così basso da risultare inattendibile.

f) RISOLUZIONE E GESTIONI RISOLUTORI

Come preannunciato, il passaggio successivo e finale della simulazione è stato il controllo dei dati introdotti nei precedenti step, per poi avviare la simulazione.

Si è scelto un numero costante di iterazioni del processo pari a 1000, per ognuno dei casi studio sottoposti al software; il numero è sembrato adatto in quanto non eccessivamente elevato da inficiare un fluido proseguimento delle operazioni, e non così basso da risultare inattendibile.

g) **RISULTATI FINALI**

Di seguito verranno fornite le immagini dei risultati dei casi considerati.

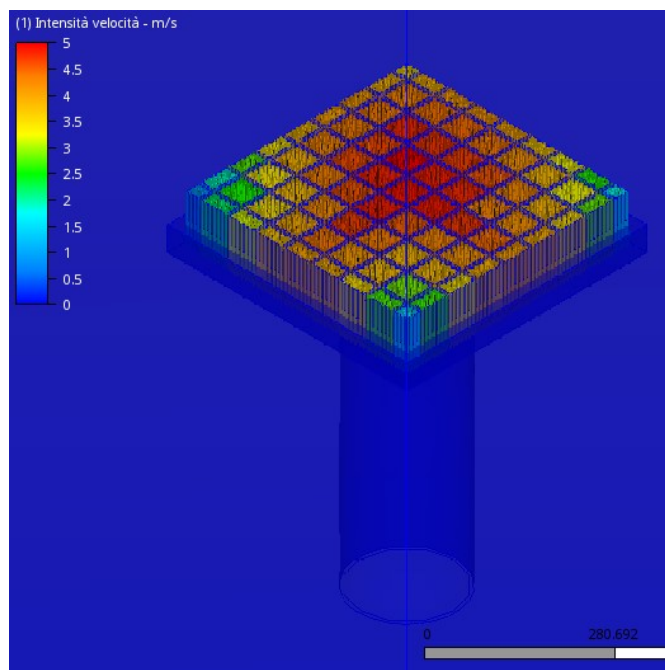


Figura 95: Assonometria intensità di velocità a livello del piano pavimento.

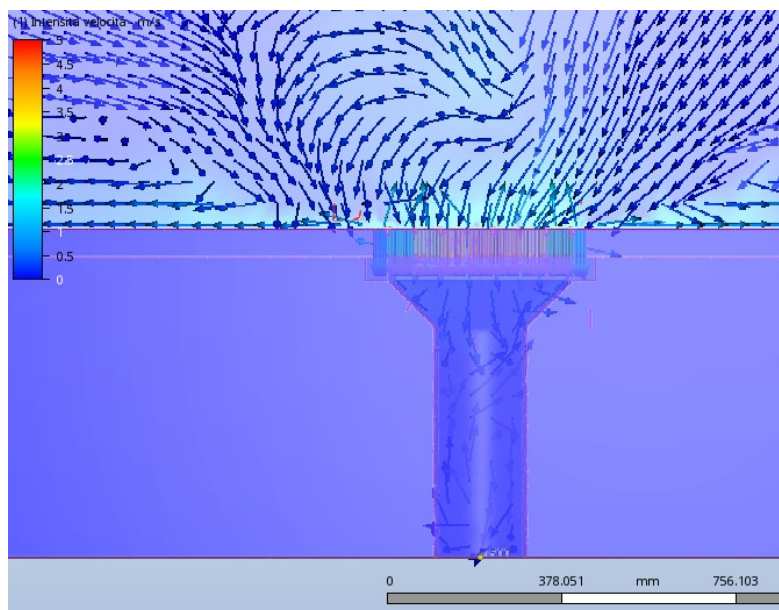


Figura 96: Sezione verticale passante per il centro della bocchetta reale.

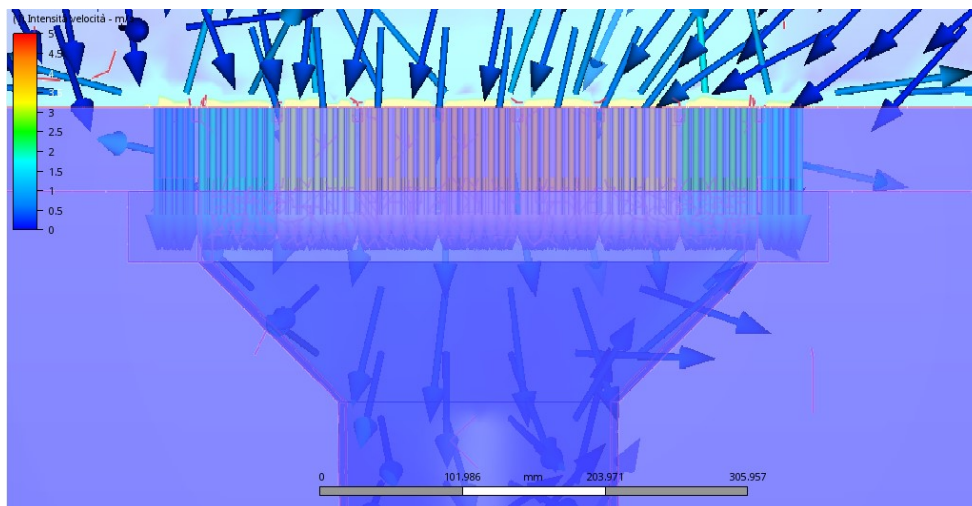


Figura 97: Dettaglio sulla sezione verticale passante per il centro della bocchetta teorica.

Come si evince dalle figure sopra proposte, il livello di dettaglio e la variabilità di valori della grandezza fisica intensità di velocità dell'aria è molto più efficace rispetto ai casi precedenti di bocchette teoriche.

In particolare, si può notare come il comportamento del modulo dell'intensità di velocità dell'aria non sia simmetrico, man mano che ci si allontana dalla zona centrale e si raggiungono i confini estremi della bocchetta.

Tale comportamento deriva dal fatto che i dati inseriti nel software di simulazione, non sono relativi ad un unico valore di intensità di velocità dell'aria, ma bensì a 81 moduli diversi inseriti localmente e quindi puntualmente, nella griglia di cui si è parlato sopra; griglia che corrisponde agli 81 valori rilevati tramite apparecchiatura a piano pavimento. La direzione ed il verso dell'aria, rispetto ai casi teorici considerati in precedenza, non differiscono molto, possiamo quindi assumere che il comportamento delle bocchette con un solo dato di input di partenza, sia sufficientemente affidabile, anche se una modellazione di dettaglio risulta comunque preferibile.

Anche in questa situazione, emerge il fatto che a circa 30 cm dal piano pavimento, il modulo dell'intensità di velocità dell'aria sia caratterizzato da valori sufficientemente bassi da evitare i "draft risk" e di conseguenza il discomfort locale dovuto a correnti d'aria, nei confronti degli occupanti.

4.2.6 GRUPPO DI 4 BOCCHETTE 40 cm x 40 cm REALI CON CONDIZIONI REALI AL CONTORNO

Similmente a quanto asserito nel paragrafo precedente, anche in questo caso, i valori di partenza inseriti nel software di simulazione energetica, non saranno più teorici, ma reali.

In particolare, per ciascuna delle 4 bocchette di aspirazione appartenenti al gruppo di modello, verranno inseriti 81 valori puntuali, rilevati localmente tramite apparecchiatura congrua.

La distribuzione orizzontale del gruppo è visibile in figura 86, pertanto non verrà riproposta nel corrente paragrafo.

a) CARATTERISTICHE GEOMETRICHE MODELLO

La tipologia di bocchetta considerata in questa analisi è identica alla prima, riportiamo quindi le rappresentazioni in cad di pianta e prospetto della bocchetta 40x40 già enunciate in precedenza.

b) CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

I materiali attribuiti alle varie componenti la bocchetta sono essenzialmente due, ed anche in questo caso si tratta degli stessi attribuiti alla bocchetta teorica della prima analisi, tranne per la parte sottostante il pavimento:

- **ACCIAIO** sia per quanto riguarda la bocchetta, sia per la doppia griglia, sia per il cavedio. Occorre inoltre precisare che per una semplificazione della simulazione anche al pavimento è stato attribuito il materiale acciaio. Sono state introdotte delle pareti fittizie dello spessore di 20 mm al volume di controllo per favorire una più corretta interpretazione dello spazio da parte del software.
- **ARIA** per tutti i volumi non occupati da materiale allo stato solido, ovvero sia per il volume interno dell'ambiente costruito, sia per il volume interno al cavedio, sia per il volume all'interno delle bocchette di ventilazioni e dei condotti verticali.

- CALCESTRUZZO per il volume sottostante la pavimentazione, più vicino alla realtà rispetto al materiale aria della simulazione precedente.

c) CONDIZIONI AL CONTORNO

Le condizioni al contorno relative a questa simulazione coinvolgono due grandezze fisiche:

- Pressione relativa alla superficie superiore del volume di controllo pari a 0 Pascal.
- Velocità dell'aria con direzione perpendicolare alla superficie circolare delle bocchette e diretta verso il basso, pari ai valori rilevati localmente in ciascuno degli 81 punti che verranno raffigurati nella figura successiva.

Di seguito vengono riportati in tabella i valori rilevati in 81 punti della bocchetta 40 cm x 40 cm presa in considerazione, per ciascuna delle 4 bocchette componenti il gruppo di modello.

Si può notare, come sia per l'asse delle ascisse, sia per quello delle ordinate, i valori di intensità di velocità dell'aria considerati sono quelli che si trovano completamente all'interno del quadrato 40 cm x 40 cm rappresentato dalla superficie della bocchetta stessa.

		BOCCHETTA N°46															
Y	0,8	2,7	2,60	2,47	2,29	2,08	1,82	1,52	1,18	0,8	0,38	-0,08	-0,58	-1,13	-1,71	-2,33	-3,00
	0,75	3,24	4,02	3,64	3,72	3,74	3,68	3,56	3,38	2,51	2,80	2,42	1,97	1,45	0,86	0,21	-0,40
	0,7	3,57	4,21	5,16	4,97	5,16	5,24	5,20	5,06	3,99	4,43	3,94	3,35	2,64	1,82	2,99	-0,38
	0,65	3,70	4,53	5,06	6,12	6,30	6,46	6,57	6,53	5,25	5,99	5,49	4,84	4,08	4,65	2,06	0,44
	0,6	3,63	4,64	5,36	5,92	6,9	7,19	7,41	7,46	6,29	7,01	6,52	5,86	6,4	4,11	2,92	1,17
	0,55	3,35	4,54	5,43	6,15	6,73	7,50	7,88	8,01	7,10	7,67	7,22	7,63	5,87	4,94	3,65	1,81
	0,5	2,87	4,22	5,28	6,14	6,86	7,42	7,91	8,31	7,69	8,10	8,34	7,21	6,55	5,61	4,25	2,36
	0,45	2,19	3,68	4,91	5,91	6,76	7,43	7,96	8,15	8,06	8,53	8,09	7,68	7,05	6,11	4,72	2,81
	0,4	1,3	2,92	4,32	5,50	6,48	7,23	7,77	8,09	8,2	8,09	7,77	7,23	6,48	5,50	4,32	2,92
	0,35	0,21	1,97	3,48	4,76	5,86	6,76	7,52	7,35	8,12	8,07	8,32	8,02	7,48	6,62	5,29	3,46
	0,3	-1,08	0,79	2,43	3,84	5,07	6,08	5,99	7,50	7,82	7,96	7,76	7,89	7,42	6,62	5,37	3,65
	0,25	-2,58	-0,61	1,16	2,69	4,04	4,10	6,07	6,75	7,29	7,42	7,42	7,27	7,17	6,47	5,34	3,75
BOCCHETTA	0,2	-4,28	-2,22	-0,34	1,32	1,7	3,99	5,01	5,80	6,54	6,70	6,81	6,69	6,6	6,15	5,17	3,76
	0,15	-6,18	-4,04	-2,07	-1,22	1,27	2,64	3,79	4,70	5,56	5,84	6,06	6,06	5,63	5,75	4,87	3,68
	0,1	-8,28	-6,08	-4,66	-2,08	-0,35	1,15	2,41	3,46	4,37	4,85	5,21	5,33	5,23	4,90	4,71	3,51
	0,05	-10,59	-8,62	-6,06	-4,00	-2,17	-0,56	0,83	1,99	2,94	3,65	4,14	4,41	4,46	4,29	3,89	3,50
	0	-13,1	-10,56	-8,23	-6,11	-4,20	-2,51	-1,03	0,24	1,3	2,14	2,78	3,19	3,40	3,39	3,18	2,74
		BOCCHETTA															
		0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75
		X															

Figura 98: Tabella dati inseriti relativi alla bocchetta n° 4. [m/s]

		BOCCHETTA N°47															
Y	0,8	-11,6	-8,13	-5,19	-2,76	-0,85	0,54	1,41	1,77	1,6	0,92	-0,29	-2,01	-4,25	-7,01	-10,29	-14,08
	0,75	-8,39	-7,21	-3,45	-1,26	0,46	1,72	2,51	2,84	3,20	2,09	1,02	-0,52	-2,53	-5,00	-7,94	-12,37
	0,7	-5,63	-3,64	-3,36	0,10	1,90	2,52	3,15	3,40	4,58	2,75	1,85	0,57	-1,09	-3,14	-7,11	-10,89
	0,65	-3,31	-1,57	0,07	-0,06	2,03	3,46	3,97	4,17	5,74	3,62	2,87	1,80	0,44	-2,62	-3,20	-5,44
	0,6	-1,45	0,10	1,44	2,77	2,7	4,53	4,98	5,16	6,69	4,72	4,09	3,20	1,1	0,60	-1,21	-3,06
	0,55	-0,04	1,36	2,48	3,63	4,77	4,92	5,93	6,12	7,42	5,78	5,25	4,05	3,44	1,99	0,46	-1,06
	0,5	0,93	2,22	3,17	4,20	5,28	6,23	6,59	6,88	7,93	6,64	6,24	5,50	4,38	3,10	1,80	0,54
	0,45	1,44	2,68	3,53	4,48	5,54	6,53	6,97	7,72	8,22	7,65	6,82	6,07	5,07	3,94	2,81	1,76
	0,4	1,5	3,10	4,49	5,67	6,63	7,37	7,89	8,20	8,3	8,18	7,84	7,29	6,53	5,54	4,34	2,93
	0,35	1,11	2,38	3,24	4,20	5,29	6,39	6,89	8,18	8,16	8,34	7,13	6,54	5,72	4,78	3,87	3,04
	0,3	0,28	1,63	2,59	3,63	4,79	5,94	7,29	7,08	7,80	7,30	7,84	6,44	5,67	4,79	3,91	3,10
	0,25	-1,01	0,47	1,60	2,78	4,04	5,63	5,97	6,45	7,23	6,78	6,63	6,79	5,38	4,52	3,63	2,77
	0,2	-2,75	-1,09	0,27	1,65	3,2	4,23	5,02	5,58	6,44	6,04	5,93	5,60	5,2	3,98	3,02	2,05
	0,15	-4,94	-3,06	-1,40	0,00	2,04	3,23	4,15	4,80	5,43	5,30	5,15	4,73	4,05	3,07	2,09	0,95
	0,1	-7,58	-5,43	-3,96	-1,47	0,12	1,44	2,48	3,24	4,20	3,95	3,88	3,55	2,93	2,04	0,39	-0,54
	0,05	-10,66	-8,70	-5,71	-3,53	-1,67	-0,14	1,08	1,98	2,76	2,80	2,74	2,35	1,64	0,60	-0,75	-2,83
	0	-14,20	-11,03	-8,22	-5,77	-3,68	-1,94	-0,57	0,45	1,1	1,40	1,33	0,91	0,12	-1,02	-3,52	-4,38
		BOCCHETTA															
		0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75
		X															

Figura 99: Tabella dati inseriti relativi alla bocchetta n° 47. [m/s]

		BOCCHETTA N°48															
Y	0,8	-10,2	-8,23	-6,45	-4,88	-3,50	-2,33	-1,35	-0,57	0	0,38	0,55	0,53	0,30	-0,13	-0,75	-1,58
	0,75	-7,88	-6,76	-4,79	-3,37	-2,13	-1,07	-0,20	0,50	1,12	1,33	1,48	1,44	1,22	0,82	0,23	-0,63
	0,7	-5,83	-4,51	-3,76	-1,95	-0,88	0,04	0,79	1,39	2,09	2,10	2,22	2,18	1,97	1,61	1,04	0,39
	0,65	-4,06	-2,89	-1,84	-1,21	0,28	1,07	1,73	2,24	2,92	2,83	2,91	2,85	2,65	2,42	1,77	1,12
	0,6	-2,58	-1,53	-0,66	0,23	0,9	1,99	2,56	3,00	3,60	3,48	3,52	3,42	3,5	2,82	2,28	1,66
	0,55	-1,36	-0,43	0,29	1,05	1,88	2,57	3,24	3,62	4,14	3,99	3,99	4,29	3,58	3,16	2,61	2,01
	0,5	-0,43	0,42	1,03	1,69	2,45	3,17	3,79	4,08	4,54	4,35	4,79	4,14	3,80	3,34	2,78	2,17
	0,45	0,22	1,02	1,55	2,15	2,85	3,57	3,88	4,57	4,79	4,99	4,47	4,24	3,86	3,37	2,78	2,14
	0,4	0,6	1,58	2,43	3,16	3,76	4,24	4,58	4,81	4,9	4,87	4,71	4,42	4,01	3,47	2,81	2,02
	0,35	0,70	1,44	1,94	2,49	3,15	3,87	4,13	4,52	4,87	4,79	4,36	4,03	3,56	2,96	2,26	1,52
	0,3	0,52	1,28	1,80	2,38	3,05	3,75	3,84	4,23	4,69	4,20	4,24	3,72	3,18	2,53	1,75	0,92
	0,25	0,06	0,85	1,45	2,08	2,77	2,87	3,63	3,80	4,37	3,72	3,48	3,24	2,66	1,93	1,07	0,14
	0,2	-0,68	0,17	0,88	1,60	1,6	2,78	3,08	3,25	3,90	3,13	2,84	2,42	1,8	1,18	0,22	-0,84
	0,15	-1,69	-0,75	0,09	0,04	1,84	2,38	2,74	2,91	3,25	2,68	2,28	1,70	0,93	-0,68	-0,80	-2,00
	0,1	-2,98	-1,95	-1,81	0,06	0,84	1,42	1,81	2,01	2,54	1,82	1,44	0,86	0,09	-0,87	-2,41	-3,35
	0,05	-4,55	-3,96	-2,02	-0,88	0,04	0,73	1,20	1,43	1,64	1,22	0,77	0,09	-0,81	-1,94	-3,30	-5,18
	0	-6,4	-4,65	-3,15	-1,9	-0,9	-0,15	0,35	0,6	0,6	0,35	-0,15	-0,9	-1,9	-3,15	-4,65	-6,4
		BOCCHETTA															
		0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75
		X															

Figura 100: Tabella dati inseriti relativi alla bocchetta n° 48. [m/s]

		BOCCHETTA N°49															
Y	0,8	-2	-1,56	-1,18	-0,85	-0,58	-0,35	-0,18	-0,06	0	0,01	-0,03	-0,13	-0,28	-0,48	-0,73	-1,04
	0,75	-1,06	-0,32	-0,09	0,25	0,33	0,76	0,93	1,04	0,96	1,09	1,03	0,91	0,74	0,51	0,22	0,25
	0,7	-0,29	0,01	1,11	1,17	1,52	1,80	2,00	2,13	1,81	2,18	2,09	1,94	1,71	1,41	1,64	0,67
	0,65	0,32	0,47	1,07	2,28	2,27	2,60	2,84	3,00	2,53	3,05	2,94	2,74	2,45	2,75	1,64	1,20
	0,6	0,75	0,80	1,44	1,98	3,2	3,12	3,39	3,56	3,13	3,61	3,48	3,26	3,6	2,45	2,07	1,59
	0,55	1,02	1,00	1,67	2,26	2,78	3,86	3,72	3,90	3,60	3,95	3,82	4,18	3,13	2,78	2,36	1,84
	0,5	1,11	1,06	1,78	2,42	2,99	3,43	4,26	4,10	3,96	4,15	4,49	3,67	3,36	2,98	2,52	1,96
	0,45	1,04	0,98	1,76	2,46	3,07	3,56	3,85	4,41	4,19	4,53	4,05	3,81	3,47	3,05	2,54	1,94
	0,4	0,8	0,90	1,66	2,41	3,03	3,53	3,90	4,16	4,3	4,30	4,19	3,96	3,60	3,13	2,53	1,81
	0,35	0,39	0,43	1,34	2,15	2,87	3,44	3,80	3,80	4,29	3,93	4,00	3,72	3,31	2,80	2,19	1,47
	0,3	-0,19	-0,04	0,93	1,81	2,58	3,19	3,04	3,70	4,16	3,78	3,31	3,49	3,04	2,49	1,82	1,03
	0,25	-0,93	-0,66	0,40	1,34	2,16	2,00	3,00	3,25	3,90	3,34	3,17	2,43	2,65	2,04	1,31	0,45
	0,2	-1,85	-1,40	-0,27	0,75	0,7	2,01	2,44	2,71	3,53	2,81	2,63	2,30	1,3	1,47	0,66	-0,26
	0,15	-2,93	-2,28	-1,06	-0,87	0,89	1,55	2,03	2,33	3,03	2,40	2,17	1,75	1,18	-0,09	-0,11	-1,12
	0,1	-4,19	-3,30	-2,71	-0,82	0,10	0,83	1,37	1,71	2,41	1,84	1,61	1,20	0,59	-0,21	-1,74	-2,11
	0,05	-5,61	-4,82	-2,84	-1,58	-0,53	0,29	0,90	1,30	1,66	1,44	1,18	0,71	0,02	-0,88	-2,01	-3,64
	0	-7,2	-5,40	-3,83	-2,49	-1,38	-0,49	0,17	0,60	0,8	0,77	0,52	0,04	-0,68	-1,61	-2,78	-4,18
		BOCCHETTA															
		0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75
		X															

Figura 101: Tabella dati inseriti relativi alla bocchetta n° 49. [m/s]

d) CONDIZIONI INIZIALI

Per quanto riguarda le condizioni iniziali, l'unica grandezza fisica che abbiamo presa in considerazione è stata la temperatura dell'aria ed in particolare i valori attribuiti sono stati:

- Temperatura aria interna in tutto l'ambiente di simulazione pari a 20° C.

e) DIMENSIONAMENTO MESH

Una volta definite le condizioni al contorno, è necessario il procedimento di semplificazione della geometria, noto come “mesh”, di cui si è già trattato in precedenza nell'introduzione generale al percorso seguito nella simulazione energetica in Autodesk CFD.

Anche in questo caso si è scelto un numero costante di iterazioni del processo pari a 1000, per ognuno dei casi studio sottoposti al software; il numero è sembrato adatto in quanto non eccessivamente elevato da inficiare un fluido proseguimento delle operazioni, e non così basso da risultare inattendibile.

f) RISOLUZIONE E GESTIONI RISOLUTORI

Come preannunciato, il passaggio successivo e finale della simulazione è stato il controllo dei dati introdotti nei precedenti step, per poi avviare la simulazione.

Si è scelto un numero costante di iterazioni del processo pari a 1000, per ognuno dei casi studio sottoposti al software; il numero è sembrato adatto in quanto non eccessivamente elevato da inficiare un fluido proseguimento delle operazioni, e non così basso da risultare inattendibile.

h) RISULTATI FINALI

Di seguito verranno fornite le immagini dei risultati dei casi considerati.

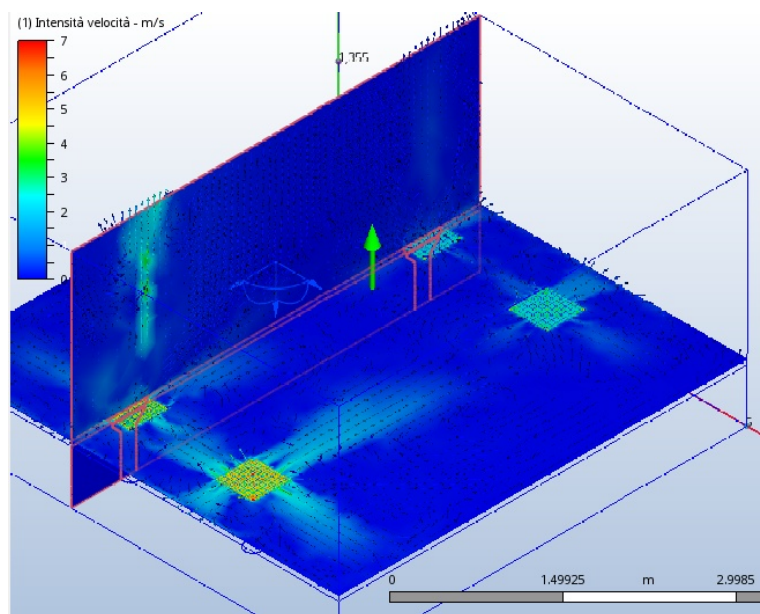


Figura 102: Spaccato assonometrico gruppo di modello di 4 bocchette reali.

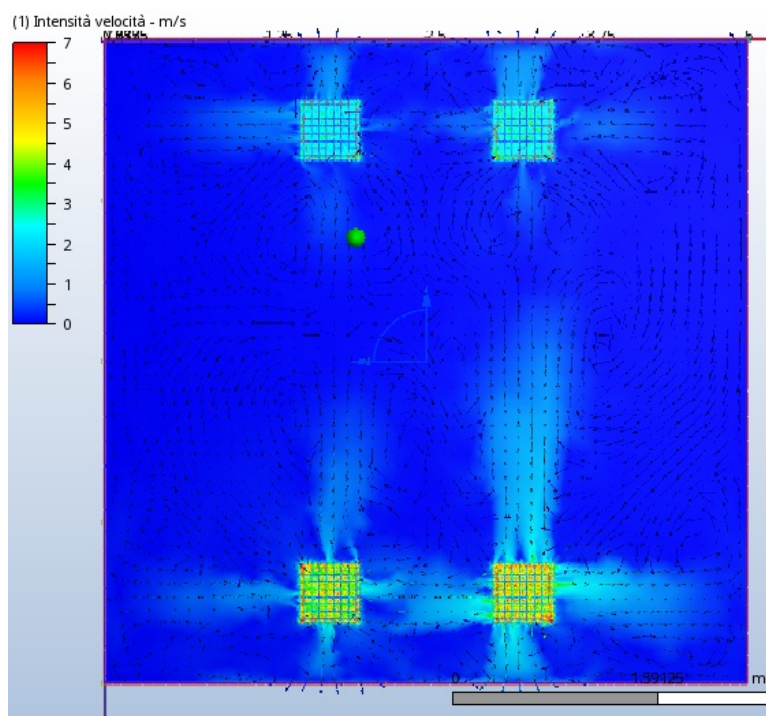


Figura 103: Vista dall'alto gruppo di modello di 4 bocchette.

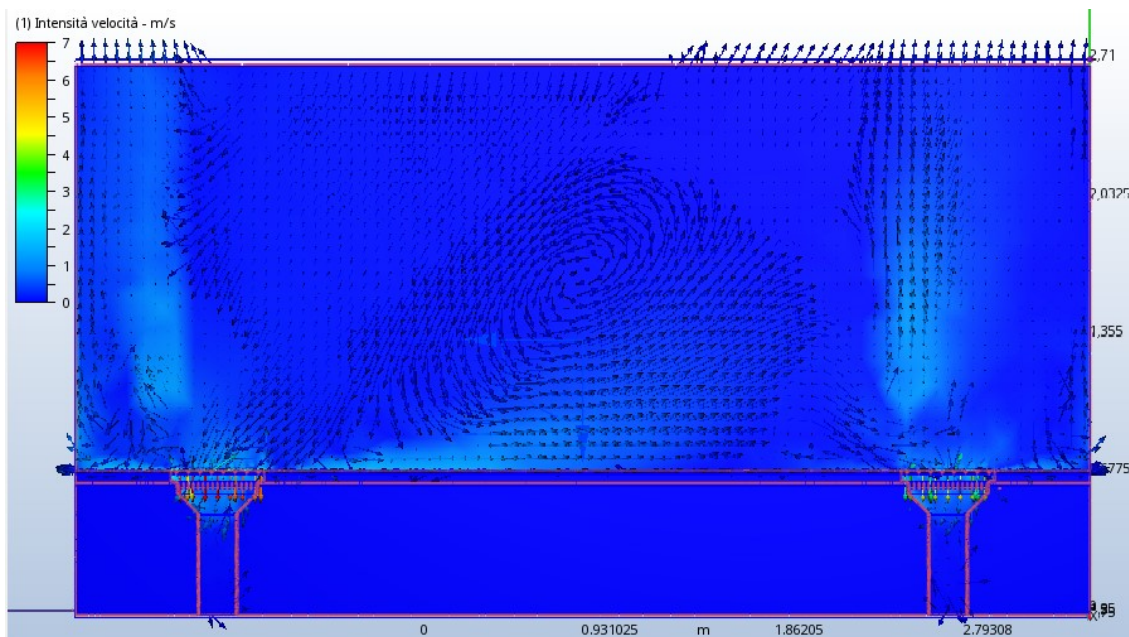


Figura 104: Sezione verticale secante il centro di due bocchette del gruppo di modello.

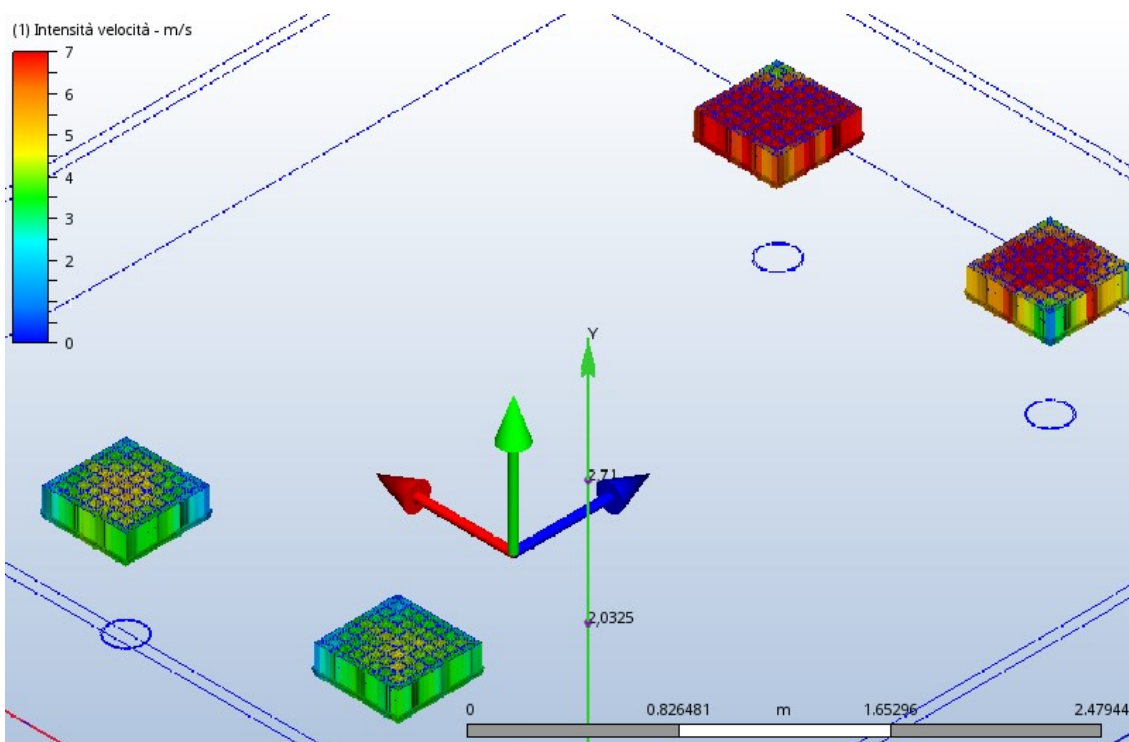


Figura 105: Assonometria di dettaglio limitata all'intorno delle 4 bocchette.

Come si può notare dalle immagini sopra riportate, la simulazione relativa al gruppo di 4 bocchette reali, con l'inserimento di 81 valori puntuali a livello del piano pavimento, per ciascuna delle singole bocchette, risulta essere quella caratterizzata dal livello di dettaglio più elevato.

Appare infatti evidente, come il comportamento della grandezza fisica intensità di velocità dell'aria, se globalmente risulta essere molto simile ai casi analizzati in precedenza, a livello dell'area immediatamente superiore al piano pavimento, differisce molto, sia delle situazioni dei paragrafi passati, sia in comparazione fra le bocchette stesse.

Sottolineiamo infatti l'evidente asimmetria che esiste all'interno di una stessa bocchetta, la cui causa deve essere ricercata nel fatto che i valori puntuali inseriti non rispecchino in modo simmetrico la geometria della bocchetta, ma al contrario differiscano da punto a punto. Tale asimmetria si può attribuire a vari fattori, quali la non perfetta tenuta dell'involucro, la naturale obsolescenza tecnologica subita dai materiali nel corso del tempo, oppure ancora ad errori nel rilevamento dei dati da parte della strumentazione.

In secondo luogo, occorre porre l'accento sulla notevole differenza del modulo del vettore intensità di velocità dell'aria che esiste fra le due coppie di bocchette presenti lungo i lati corti del gruppo di modello (fare riferimento alle figure 96 e 98). La causa principale va ricercata in questo caso in differente capacità performante da parte delle due coppie di bocchette, probabilmente dovuta ad un'obsolescenza diversa.

Sono anche presenti, come visibile in figura 97, problemi di ricircolo e di vortici all'interno dell'ambiente confinato; dato però il valore relativamente basso del modulo dell'intensità dell'aria nell'area interessata, possiamo considerarli trascurabili.

Infine, anche in questa situazione, si possono escludere problematiche legate ai "draft risk", o a qualsiasi tipo di discomfort locale a danno dell'occupante, visti i valori limitati dell'intensità di velocità dell'aria di aspirazione.

4.3 CASO STABILIMENTO FCA DI CASSINO (FR)

Anche per quanto concerne il caso del fabbricato industriale di proprietà FCA sito a Cassino (Fr), procederemo similmente a quanto avvenuto per il caso precedente.

Occorre sottolineare sin da subito come in questa situazione non vi siano state problematiche gravi come per il grattacielo Torre della Regione: la geometria sicuramente più semplice, ma soprattutto le dimensioni limitate della porzione di edificio presa in considerazione hanno infatti limitato la necessità di diminuire la complessità del modello originale.

Verrà ora analizzata nel dettaglio la procedura che, a partire dal modello generato attraverso il software Autodesk Inventor, ha portato all'analisi computazionale dinamica.

4.3.1 ESPORTAZIONE INIZIALE DEL MODELLO E RELATIVE PROBLEMATICHE

Come anticipato nell'introduzione a questa sezione, non dedicheremo molto spazio alle problematiche relative ai casi dei fabbricati industriali; Autodesk Inventor si è infatti rilevato maggiormente compatibile con il software di simulazione fluidodinamica Autodesk CFD.

Le uniche operazioni di semplificazione adottate per favorire una corretta esportazione del modello di progettazione all'interno di Autodesk CFD, sono infatti solamente quelle inerenti alla modifica di alcune geometrie circolari che sono state sostituite con geometrie lineari come quelle rettangolari.

Il passo successivo all'interno di questo paragrafo sarà quindi di analizzare singolarmente le sotto casistiche che sono riscontrate nello stesso fabbricato:

- GRUPPO DI MODELLO COSTITUITO DA DUE BOCCHETTE DI DIMENSIONI 1600 cm X 30 cm CON INTENSITÀ DI VELOCITÀ ORIZZONTALE.
- GRUPPO DI MODELLO COSTITUITO DA DUE BOCCHETTE DI DIMENSIONI 1600 cm X 30 cm CON INTENSITÀ DI VELOCITÀ VERTICALE.

4.3.2 GRUPPO DI MODELLO COSTITUITO DA DUE BOCCHETTE DI DIMENSIONI 1600 cm X 30 cm CON INTENSITÀ DI VELOCITÀ ORIZZONTALE

a) CARATTERISTICHE GEOMETRICHE MODELLO

La tipologia di bocchetta considerata in questa analisi è identica alla prima, riportiamo quindi le rappresentazioni in cad di pianta e prospetto della bocchetta 1600 cm x 30 cm già enunciate in precedenza.

Anche se le caratteristiche geometriche della bocchetta e delle distanze sono già state presentate, riteniamo opportuno riportarle nuovamente, per una migliore comprensione del processo di simulazione:

- Dimensioni in pianta: 160 cm x 30 cm.
- Distanza griglia superiore di camminamento – condotto orizzontale: 65 cm.
- Maglia del cestello ferma rifiuti: 1 cm x 1 cm con diametro rete filo: 0,1 cm.
- Distanza fra bocchette lato corto: 70 cm.

b) CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

I materiali attribuiti alle varie componenti la bocchetta sono essenzialmente due, ed anche in questo caso si tratta degli stessi attribuiti alla bocchetta teorica della prima analisi, tranne per la parte sottostante il pavimento:

- ACCIAIO sia per quanto riguarda la bocchetta, sia per la doppia griglia, sia per il cavedio. Occorre inoltre precisare che per una semplificazione della simulazione anche al pavimento è stato attribuito il materiale acciaio. Sono state introdotte delle pareti fittizie dello spessore di 20 mm al volume di controllo per favorire una più corretta interpretazione dello spazio da parte del software.²²

²² A causa di alcune problematiche a livello di interferenze fra geometrie diverse, anche alle parti architettoniche nella realtà in calcestruzzo, è stato assegnato il materiale acciaio, in quanto non discriminante per la buona riuscita della simulazione.

- ARIA per tutti i volumi non occupati da materiale allo stato solido, ovvero sia per il volume interno dell'ambiente costruito, sia per il volume interno al cavedio, sia per il volume all'interno delle bocchette di ventilazioni e dei condotti verticali ed orizzontali.

c) CONDIZIONI AL CONTORNO

In questo caso, non avendo a disposizione dati reali e locali di punti rilevati tramite strumentazione adatta, abbiamo utilizzato i valori di progetto, pari a:

- Intensità di velocità dell'aria di ventilazione pari a 6 m/s in entrata ed in uscita nelle due sezioni del tratto di condotto orizzontale considerato all'interno del modello di ambiente confinato.
- Pressione relative associata alla superficie superiore dell'ambiente di modello confinato pari a 0 Pa.

d) CONDIZIONI INIZIALI

Per quanto riguarda le condizioni iniziali, l'unica grandezza fisica che abbiamo presa in considerazione è stata la temperatura dell'aria ed in particolare i valori attribuiti sono stati:

- Temperatura aria interna in tutto l'ambiente di simulazione pari a 20° C.

e) DIMENSIONAMENTO MESH

Una volta definite le condizioni al contorno, è necessario il procedimento di semplificazione della geometria, noto come “mesh”, di cui si è già trattato in precedenza nell'introduzione generale al percorso seguito nella simulazione energetica in Autodesk CFD.

Anche in questo caso si è scelto un numero costante di iterazioni del processo pari a 1000, per ognuno dei casi studio sottoposti al software; il numero è sembrato adatto in quanto non eccessivamente elevato da inficiare un fluido proseguimento delle operazioni, e non così basso da risultare inattendibile.

f) RISOLUZIONE E GESTIONI RISOLUTORI

Come preannunciato, il passaggio successivo e finale della simulazione è stato il controllo dei dati introdotti nei precedenti step, per poi avviare la simulazione.

Si è scelto un numero costante di iterazioni del processo pari a 1000, per ognuno dei casi studio sottoposti al software; il numero è sembrato adatto in quanto non eccessivamente elevato da inficiare un fluido proseguimento delle operazioni, e non così basso da risultare inattendibile.²³

g) RISULTATI FINALI

Di seguito verranno fornite le immagini dei risultati dei casi considerati.

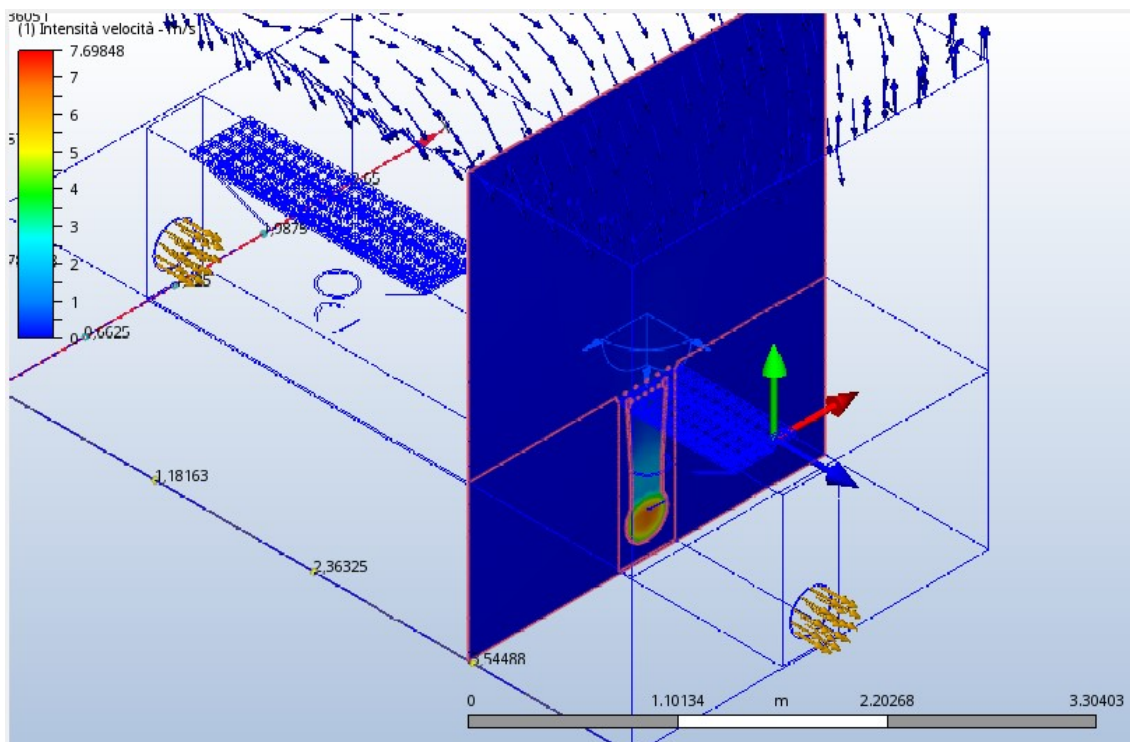


Figura 106: Sezione assonometrica verticale trasversale passante per il centro di una delle due bocchette.

²³ Sebbene il numero iniziale di iterazioni richiesto fosse pari a 1000, il software ha raggiunto la convergenza con un numero di iterazioni pari a 517.

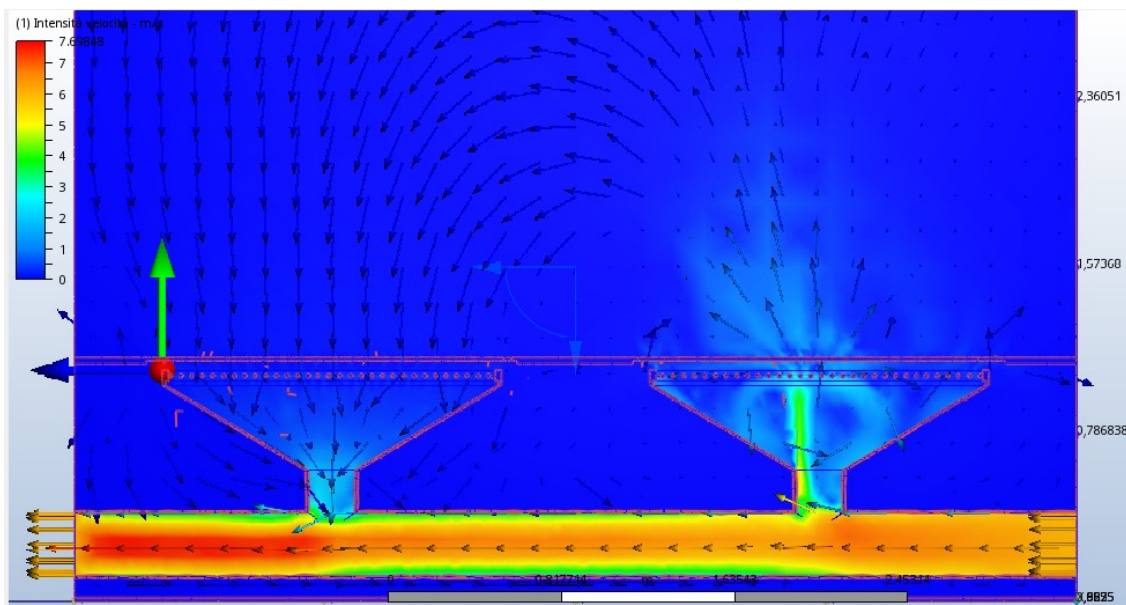


Figura 107: Sezione verticale laterale passante per il centro delle due bocchette.

In questa prima simulazione relativa al fabbricato di proprietà FCA, sito a Cassino, abbiamo deciso di associare alle sezioni laterali del condotto orizzontale che collega le due bocchette, la grandezza fisica intensità di velocità con modulo pari a 6 m/s e versi rispettivamente entrante ed uscente.

Come si evince dalla figura 100, tale assunzione, non risulta essere veritiera, in quanto un sistema termo fisico di questo tipo da origine ad aria in uscita dalla prima bocchetta, ricircolo con vortici all'interno dell'ambiente confinato e ripresa dell'aria da parte della seconda bocchetta. Si può anche facilmente notare, come nella zona terminale della tubazione orizzontale, a ridosso con la sezione di uscita, il modulo dell'intensità di velocità dell'aria raggiunga il suo picco, in quanto somma dell'aria iniziale di mandata e di quella di ripresa della seconda bocchetta.

Risulta chiaro, come questa tipologia di sistema termo dinamico non rispecchi l'effettiva movimentazione dell'aria, è pertanto risultato effettuare una seconda tipologia di assunzioni all'interno dell'ambiente confinato, che sarà protagonista del paragrafo successivo.

4.3.2 GRUPPO DI MODELLO COSTITUITO DA DUE BOCCHETTE DI DIMENSIONI 1600 cm X 30 cm CON INTENSITÀ DI VELOCITÀ VERTICALE

a) CARATTERISTICHE GEOMETRICHE MODELLO

La tipologia di bocchetta considerata in questa analisi è identica alla prima, riportiamo quindi le rappresentazioni in cad di pianta e prospetto della bocchetta 1600 cm x 30 cm già enunciate in precedenza.

Anche se le caratteristiche geometriche della bocchetta e delle distanze sono già state presentate, riteniamo opportuno riportarle nuovamente, per una migliore comprensione del processo di simulazione:

- Dimensioni in pianta: 160 cm x 30 cm.
- Distanza griglia superiore di camminamento – condotto orizzontale: 65 cm.
- Maglia del cestello ferma rifiuti: 1 cm x 1 cm con diametro rete filo: 0,1 cm.
- Distanza fra bocchette lato corto: 70 cm.

b) CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

I materiali attribuiti alle varie componenti la bocchetta sono essenzialmente due, ed anche in questo caso si tratta degli stessi attribuiti alla bocchetta teorica della prima analisi, tranne per la parte sottostante il pavimento:

- ACCIAIO sia per quanto riguarda la bocchetta, sia per la doppia griglia, sia per il cavedio. Occorre inoltre precisare che per una semplificazione della simulazione anche al pavimento è stato attribuito il materiale acciaio. Sono state introdotte delle pareti fittizie dello spessore di 20 mm al volume di controllo per favorire una più corretta interpretazione dello spazio da parte del software.²⁴
- ARIA per tutti i volumi non occupati da materiale allo stato solido, ovvero sia per il volume interno dell'ambiente costruito, sia per il volume interno al

²⁴ A causa di alcune problematiche a livello di interferenze fra geometrie diverse, anche alle parti architettoniche nella realtà in calcestruzzo, è stato assegnato il materiale acciaio, in quanto non discriminante per la buona riuscita della simulazione.

cavedio, sia per il volume all'interno delle bocchette di ventilazioni e dei condotti verticali ed orizzontali.

c) CONDIZIONI AL CONTORNO

In questo caso, non avendo a disposizione dati reali e locali di punti rilevati tramite strumentazione adatta, abbiamo utilizzato i valori di progetto, pari a:

- Intensità di velocità dell'aria di ventilazione in aspirazione pari a 6 m/s, per ciascuna delle due bocchette del modello .
- Pressione relative associata alla superficie superiore dell'ambiente di modello confinato pari a 0 Pa.

d) CONDIZIONI INIZIALI

Per quanto riguarda le condizioni iniziali, l'unica grandezza fisica che abbiamo presa in considerazione è stata la temperatura dell'aria ed in particolare i valori attribuiti sono stati:

- Temperatura aria interna in tutto l'ambiente di simulazione pari a 20° C.

e) DIMENSIONAMENTO MESH

Una volta definite le condizioni al contorno, è necessario il procedimento di semplificazione della geometria, noto come “mesh”, di cui si è già trattato in precedenza nell'introduzione generale al percorso seguito nella simulazione energetica in Autodesk CFD.

Anche in questo caso si è scelto un numero costante di iterazioni del processo pari a 1000, per ognuno dei casi studio sottoposti al software; il numero è sembrato adatto in quanto non eccessivamente elevato da inficiare un fluido proseguimento delle operazioni, e non così basso da risultare inattendibile.

f) RISOLUZIONE E GESTIONI RISOLUTORI

Come preannunciato, il passaggio successivo e finale della simulazione è stato il controllo dei dati introdotti nei precedenti step, per poi avviare la simulazione.

Si è scelto un numero costante di iterazioni del processo pari a 1000, per ognuno dei casi studio sottoposti al software; il numero è sembrato adatto in quanto non eccessivamente elevato da inficiare un fluido proseguimento delle operazioni, e non così basso da risultare inattendibile.

g) RISULTATI FINALI

Di seguito verranno fornite le immagini dei risultati dei casi considerati.

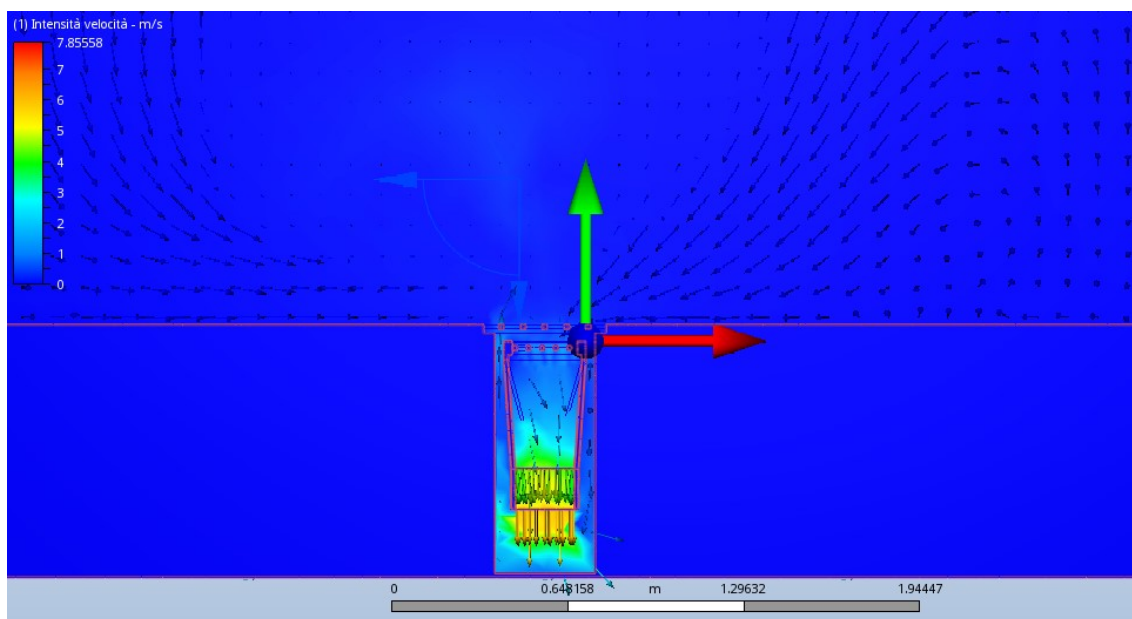


Figura 108: Sezione verticale trasversale passante per il centro di una delle due bocchette.

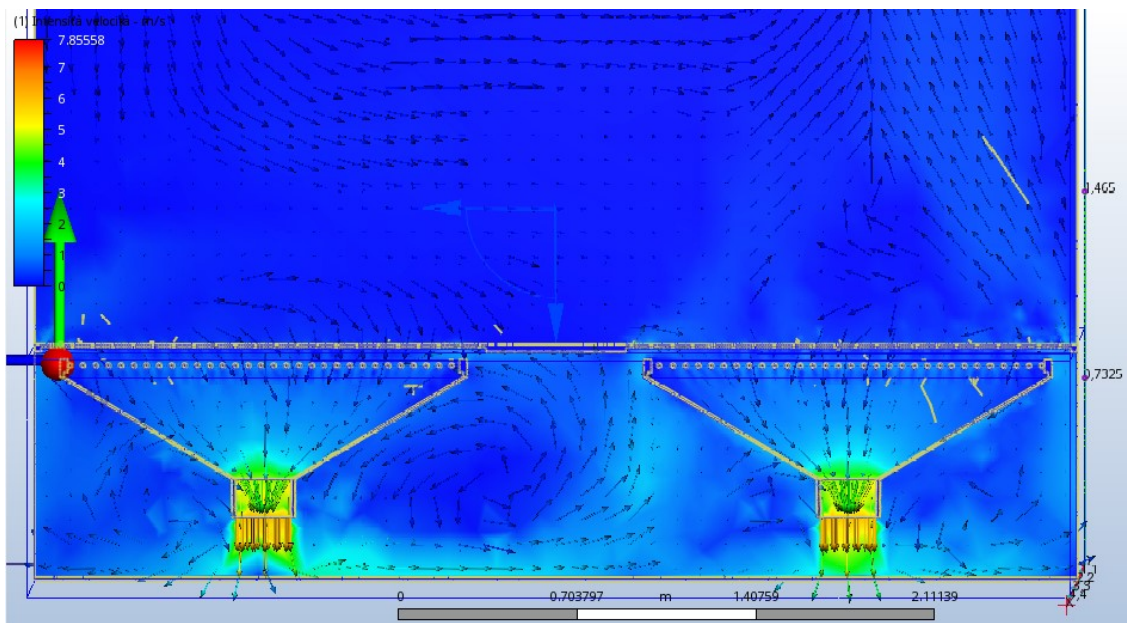


Figura 109: Sezione verticale laterale passante per il centro delle due bocchette.

Come si evince dalle figure 101 e 102, i risultati ottenuti in questo caso relativo allo stabilimento di Cassino, sono molto più veritieri rispetto al caso analizzato in precedenza.

Assegnando infatti valori in modulo, direzione e verso all'aria della sezione circolare della bocchetta terminale d'impianto e non più a due sezioni dello sviluppo orizzontale delle condutture, otteniamo all'interno dell'ambiente confinato una situazione accettabile a livello termo fisico. Possiamo infatti notare come i movimenti dell'aria siano direzionati verso il basso, dove appunto avviene l'aspirazione da parte delle due bocchette e come raggiungano i valori massimi proprio in corrispondenza della sezione a cui abbiamo assegnato i valori di velocità in fase di inserimento dati.

Risulta altresì evidente, l'assenza di fenomeni di ricircolo o vortici all'interno dell'ambiente confinato, con la conseguente assenza di discomfort locale o effetti di "draft risk" a sfavore dell'occupante.

Da sottolineare infine la presenza, all'interno del cavedio orizzontale inferiore dei fenomeni appena citati, che ai nostri fini risultano accettabili in quanto non inficianti il benessere dell'occupante, poiché non presenti all'interno dell'ambiente confinato, ma al di sotto del livello piano pavimento.

5 CONCLUSIONI E POSSIBILI SVILUPPI FUTURI

Ripercorrendo l'intero processo descritto all'interno di questo lavoro, che è consistito nell'analisi dei dati cartacei e digitali iniziali, nella loro trasformazione in modelli 3D attraverso l'utilizzo di due tipologie di software dedicati alla modellazione ed infine nella loro esportazione in un unico software di analisi computazionale fluidodinamica, possiamo affermare di avere ottenuto i risultati auspicati sulla base degli obiettivi posti in partenza.

Completato il quadro delle varie simulazioni, ottenute a partire da modelli originati tramite software fra loro differenti, risulta tuttavia necessario confrontare gli stessi.

Come già anticipato nei capitoli dedicati, appare evidente come un modello tridimensionale BIM, ottenuto tramite il software Autodesk Revit, risulti essere più adatto nel caso di porzioni di edificio maggiori: non a caso è stato scelto per la definizione di un intero piano del grattacielo Torre della Regione Piemonte.

Esiste tuttavia un aspetto che non ha soddisfatto appieno le esigenze iniziali, relative al caso studio Torre della Regione Piemonte: ricordiamo infatti che all'inizio di questa tesi, l'obiettivo prefissato era l'ottenimento di una simulazione CFD dell'intero piano trentesimo, comprensiva dell'impianto di distribuzione orizzontale e verticale dell'aria, e non soltanto dei terminali. Accanto a ciò, anche a livello strutturale ed architettonico, sono state necessarie delle semplificazioni, che seppur meno invasive rispetto alla rimozione delle tubazioni, non hanno comunque permesso una valutazione del modello completo dell'edificio, o comunque del piano considerato.

Possiamo quindi ritenerci soddisfatti di aver ottenuto un modello, che a livello di analisi del comfort e del benessere interno dell'occupante risulti valido, in quanto i dati relativi alle intensità di velocità delle bocchette di mandata e di ripresa sono progettuali e verificati, ma tuttavia non siamo stati in grado di ottenere un modello indicativo del comportamento dell'aria di ventilazione anche all'interno delle tubazioni e di tutta la distribuzione impiantistica verticale ed orizzontale.

In sintesi, per quanto riguarda il caso Torre della Regione Piemonte, possiamo senza dubbio dichiarare che la collaborazione fra file provenienti da sorgenti diverse è stata ottima, in quanto i cosiddetti file "linkati", ovvero i collegamenti di file .rvt con il nostro modello centrale utilizzato, non hanno dato alcun tipo di problema nella

successiva esportazione; anzi al contrario dato il peso leggero in termini di occupazione di memoria fisica del pc, hanno favorito l'esportazione stessa.

Per quanto concerne invece l'interoperabilità fra i due software di riferimento Autodesk Revit ed Autodesk CFD Simulation, abbiamo riscontrato le problematiche di esportazione trattate in precedenza; risultano perciò auspicabili eventuali migliorie a livello di relazione fra i due software, specie nel caso di modelli caratterizzati da geometrie relativamente complesse.

Per quanto riguarda invece i due casi studio relativi ai fabbricati di proprietà FCA, sin dall'inizio si è deciso di creare un modello di dimensioni più ridotte, in quanto non riguardante un intero piano, ma una porzione ridotta di esso; tale scelta ha poi ripagato in fase di esportazione del modello per la simulazione energetica.

Appare evidente come l'utilizzo di software differenti in fase di modellazione, abbia in realtà influito in maniera limitata all'esito positivo del risultato finale; trattandosi infatti sì di un modello molto dettagliato, ma con dimensioni non comparabili rispetto al caso studio di Torre della Regione Piemonte.

Possiamo quindi affermare di avere ottenuto dei modelli sufficientemente dettagliati e delle simulazioni accurate, limitatamente agli obiettivi prefissati di analisi della situazione legata ai movimenti dell'aria all'interno degli ambienti confinati, ma che in caso di analisi fluidodinamiche più complesse, come ad esempio l'introduzione di ulteriori grandezze fisiche, oppure di una simulazione non più stazionaria, ma dinamica, risultano comunque non privi di errori.

Il secondo paragrafo di questo capitolo, sarà dunque dedicato ad un'analisi dei potenziali sviluppi futuri dei modelli creati e delle simulazioni operate.

5.1 OBIETTIVI FUTURI E POTENZIALI EVOLUZIONI

In questo paragrafo andremo ad analizzare le possibili operazioni che si potrebbero condurre a partire dai modelli originati, oppure apportando modifiche agli stessi.

Come anticipato in precedenza, gli obiettivi principali potrebbero consistere nel ridurre il più possibile i limiti che hanno caratterizzato la simulazione, agendo quindi a livello del modello prima dell'importazione, oppure migliorando ulteriormente il modello CFD generato, ad esempio considerando una situazione dinamica anziché statica.

Considereremo quindi singolarmente le due situazioni appena descritte.

5.1.1 MODIFICA DEI MODELLI PRIMA DELL'ESPORTAZIONE IN AUTODESK CFD Simulation

Per quanto detto finora, è evidente che il modello che necessita una revisione maggiore risulta essere quello del caso studio del grattacielo Torre della Regione Piemonte.

Potrebbe risultare interessante quindi, considerare non solo i terminali dell'impianto di distribuzione dell'aria, ma lo stesso nel suo complesso, comprensivo quindi di tutte le condutture e le tubazioni, oltre che delle feritoie e delle altre bocchette non comprese nell'ambiente confinato, soggetto dell'analisi.

Per potere creare un modello simile, viste le difficoltà incontrate nell'esportazione, si potrebbe pensare ad una parzializzazione del piano trentesimo, suddividendolo ad esempio in quattro settori principali, in corrispondenza dei vertici dell'ideale rettangolo costituente la pianta. Risulta evidente come una divisione di questo tipo comunque, vada ad inficiare la bontà del modello, in quanto non si riuscirebbe ad avere una visione completa del quadro, ma sempre di una porzione limitata.

Una modifica alternativa potrebbe quindi essere una riduzione ulteriore delle superfici curve o circolari, in particolare modificando la sezione delle condutture da circolari a quadrate o rettangolari, tale modifica non dovrebbe andare a compromettere i risultati finali a livello termodinamico, al contrario favorirebbe il processo di modellazione delle

“mesh” geometriche a livello superficiale e volumetrico, permettendo quindi un’esportazione semplificata per il software Autodesk CFD Simulation.

5.1.2 IMPLEMENTAZIONE DEI MODELLI AUTODESK INVENTOR CON MODELLO AUTODESK REVIT

Se nel paragrafo precedente ci si è soffermati sulle modifiche apportabili al modello Revit del grattacielo Torre della Regione Piemonte, questo paragrafo sarà invece dedicato a quelle attuabili all’interno dei due modelli Inventor dei fabbricati di proprietà FCA.

Come appare evidente da quanto detto nei capitoli dedicati alla modellazione delle bocchette dei due edifici industriali, l’attenzione è stata posta non tanto sugli edifici, quando sulla modellazione di dettaglio dei terminali di ventilazione.

Sarebbe quindi interessante implementare i modelli originati con Autodesk Inventor con un modello di fabbricato industriale che rispecchi appunto i due presi in considerazione, ottenuto ad esempio attraverso Autodesk Revit.

Abbiamo infatti verificato la convertibilità del modello Inventor in modello Revit, in particolare risulta effettuabile il passaggio da modello Inventor a famiglia Revit attraverso lo strumento denominato “BIM Exchange”, che è rappresentato da un plug-in presente nel programma e che permette il passaggio immediato da un programma all’altro. La problematica principale che abbiamo notato risulta però essere la difficoltà nella parametrizzazione della famiglia, che una volta importata in Autodesk Revit risulta difficilmente modificabile.

Le immagini seguente testimonieranno l’utilizzo del plug-in per la conversione da modello Inventor a famiglie di Revit.

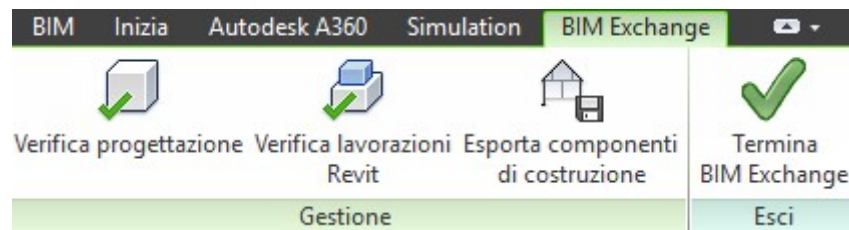


Figura 110: Plug-in di Autodesk Inventor che permette la conversione da Inventor a famiglia Revit.

Attraverso l'utilizzo del comando denominato: "Esporta componenti di costruzione", visibile in figura 103, si passa alla sequenza di comandi presentata in figura 104, che come si può notare permette di mantenere le proprietà del modello, pur sussistendo i limiti di esportazione evidenziati precedentemente.

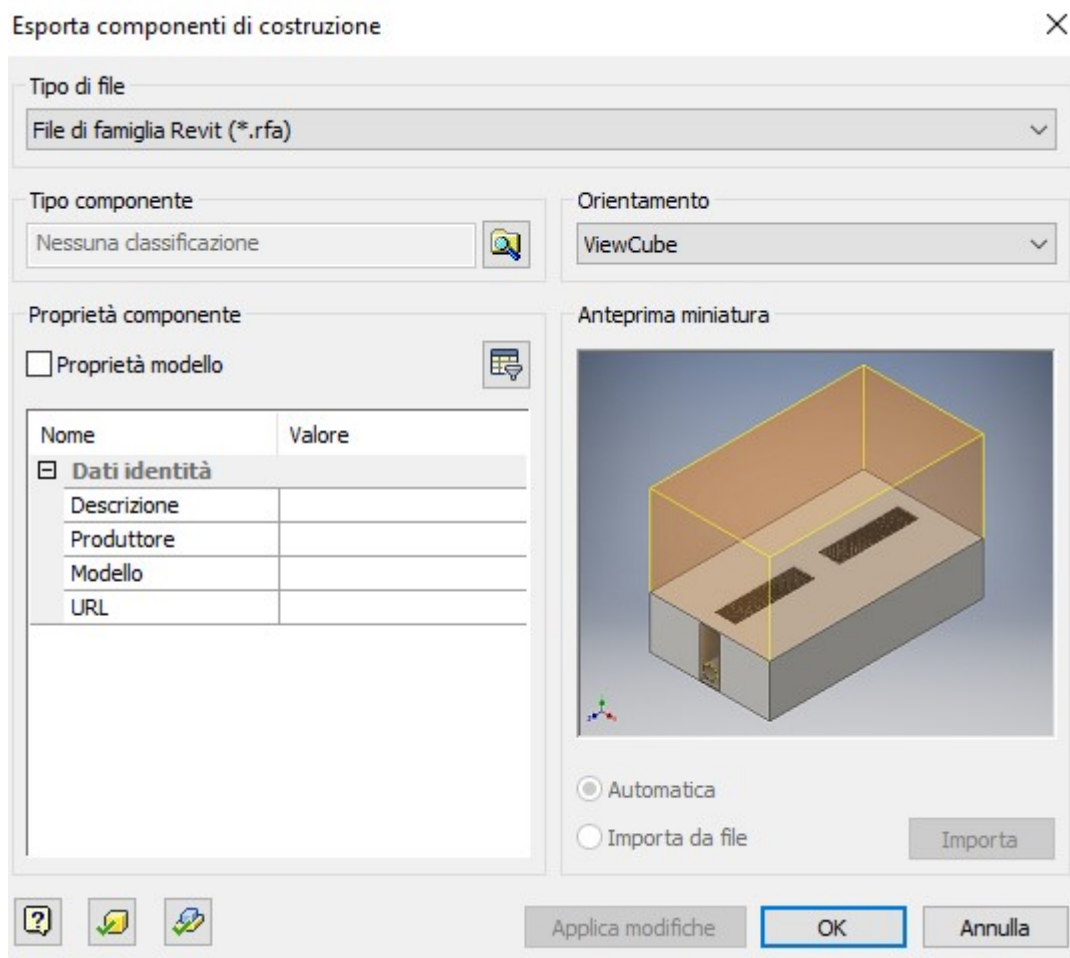


Figura 111: Schermata di conversione da Inventor a famiglia Revit.

5.1.3 CFD SIMULATION: DA CASO STATICO A CASO DINAMICO

Come ultima potenziale miglioria alle simulazioni trattate in questo lavoro, si potrebbe effettuare, utilizzando i modelli creati, una analisi fluidodinamica in un caso differente da quelli qui enunciati, ovvero ipotizzando una situazione dell'ambiente confinato, non statica, ma bensì dinamica, ad esempio ipotizzando nei due fabbricati industriali di proprietà FCA, la presenza di un portellone (che esiste nella realtà dei fatti), simulandone l'apertura e la chiusura, con la conseguente variazione dei movimenti dell'aria di ventilazione all'interno, aggiungendo quindi alla ventilazione meccanica, una componente di ventilazione naturale.

In questo modo, si andrebbe appunto ad introdurre anche la variabile temporale, passando quindi da un'analisi istantanea, ad una valutata durante un determinato arco temporale.

Nel corrente lavoro si è preferito considerare solo la tipologia statica, in modo tale da avere congruenze fra i vari casi presi in esame, ma è auspicabile uno sviluppo futuro di questa ultima variante e di tutti quelli elencati in precedenza.

FONTI BIBLIOGRAFICHE

- [1] "La Repubblica" del 27 luglio 2012, p. V della sezione "Cronaca di Torino".

- [2] Bocconcino M., Del Giudice M., Manzone F., "Il Disegno e L'Ingegnere", Levrotto & Bella Editore, Torino, 2016.

- [3] Osello A., "Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti", Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2012.

- [4] Bocconcino M., Osello A., Vernizzi C., "Il Disegno e L'Ingegnere, Disegno e Geometria, Principles of Engineering drawings", Levrotto & Bella Editore, Torino, 2006.

- [5] Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. , "BIM handbook: A guide to building information modelling for owners managers, designers, engineers and contractors", John Wiley & sons, 2008.

SITOGRAFIA

- [1] <http://www.regione.piemonte.it/notizie/piemonteinforma/archivio/diario/2007/novembre/grattacielo.htm>, attivo il 20/01/2018 alle ore 9.
- [2] <http://www.ingegneri.info>, attivo il 20/01/2018 alle ore 9.30.
- [3] <http://www.skyscrapercenter.com>, attivo il 20/01/2018 alle ore 10.
- [4] <https://www.google.it/maps/place/Maserati>, attivo il 28/01/2018 alle ore 10.
- [5] <https://www.google.it/maps/dir//Fiat+Spa,+Via+Area+Fiat,+03030+Piedimonte+San+Germano+FR>, attivo il 28/01/2018 alle ore 10.30.
- [6] <http://www.omniauto.it/magazine/21997/maserati-e-il-marchio-in-cui-fiat-crede-di-piu>, attivo il 27/01/2018 alle ore 12.
- [7] <http://www.motorbox.com/auto/magazine/lifestyle-auto/bertone-novant-anni-di-storia>, attivo il 27/01/2018 alle ore 12.25.
- [8] <http://www.ilsole24ore.com/art/commenti-e-idee/2016-12-28/grugliasco-fonde-due-storie-fiat-e-bertone>, attivo il 27/01/2018 alle ore 13.
- [9] <http://cassino.italiavirtualtour.it/>, consultato il 28/01/2018 alle ore 10.
- [10] [http://www.edilportale.com/news/2015/10/focus/bim-a-cosa-serve-e-chi-lo-userà](http://www.edilportale.com/news/2015/10/focus/bim-a-cosa-serve-e-chi-lo-usera), il 05/02/2018 alle ore 15.
- [11] <https://www.autodesk.it/products/revit-family/overview>, attivo il 18/02/2018 alle ore 11.30.

[12] <http://aucache.autodesk.com/au2012/sessionsFiles>, attivo il 25/02/2018 alle ore 11.

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio innanzitutto la professoressa Anna Osello, che, insieme a tutti i docenti conosciuti in questi anni, ha saputo suscitare in me curiosità, passione e dedizione.

Ringrazio i miei correlatori ing. Matteo Del Giudice e ing. Giulio Di Vico, che si sono sempre dimostrati oltremodo comprensivi verso i miei ritardi e le mie mancanze, ed hanno sempre messo a disposizione tutte le loro conoscenze e la loro costanza.

Ringrazio i miei familiari, che hanno sempre manifestato entusiasmo per ogni esame superato e magnanimità verso ogni caduta, senza mai smettere di sostenermi durante il cammino.

Ringrazio i compagni di viaggio in aula, le conoscenze passeggiere, gli sguardi indulgenti e chiunque mi abbia offerto il suo sorriso, senza chiedere in cambio il mio.

Ringrazio gli amici di una vita, che ogni giorno, l'hanno resa piacevolmente incerta ed estremamente stimolante.

Il ringraziamento più grande, va infine ai miei genitori Sergio e Claudia, che hanno deciso di tenermi per mano, senza mai, nemmeno per un attimo, allentare la presa.

In direzione ostinata e contraria.

A tutti voi, grazie.

