



# POLITECNICO MILANO 1863

## AREA TECNICO EDILIZIA

POLO:	Milano – Città Studi	CAMPUS:	Bassini
EDIFICIO:	20	INDIRIZZO:	via E. Bassini, 16 – 20133 Milano
STRUTTURA:	DEIB - Dipartimento Elettronica, Informazione e Bioingegneria		
COD_LAV:	1678_11	CUP:	D41E14000760005

Rifacimento involucro dell'Edificio 20 sede del D.E.I.B. - Dipartimento Elettronica, Informazione e Bioingegneria presso il Campus Bassini

## PROGETTO ESECUTIVO

Responsabile Unico del Procedimento:	ing. Gianluca Noto – A.T.E.
Responsabile del progetto:	arch. Dario Domenico Poli – A.T.E. ....
Progetto Opere Civili:	arch. Dario Domenico Poli – A.T.E.
Progetto Impianti Elettrici:	ing. Fabio Innao – A.T.E.
Progetto Opere Strutturali	ing. Bruno Sala
Verifiche ex Legge 10/91:	ing. Giacomo Lebini – A.T.E.
Verifica requisiti Acustici Passivi D.P.C.M. 5/12/97:	ing. Ezio Rendina
Coordinatore per la sicurezza in fase di progettazione:	arch. Diana Bruno – A.T.E.
Verifica propedeutica alla validazione:	CONTECO Check S.r.l.

Titolo Documento	Categoria Documento
RELAZIONE GENERALE	ELABORATI GENERALI

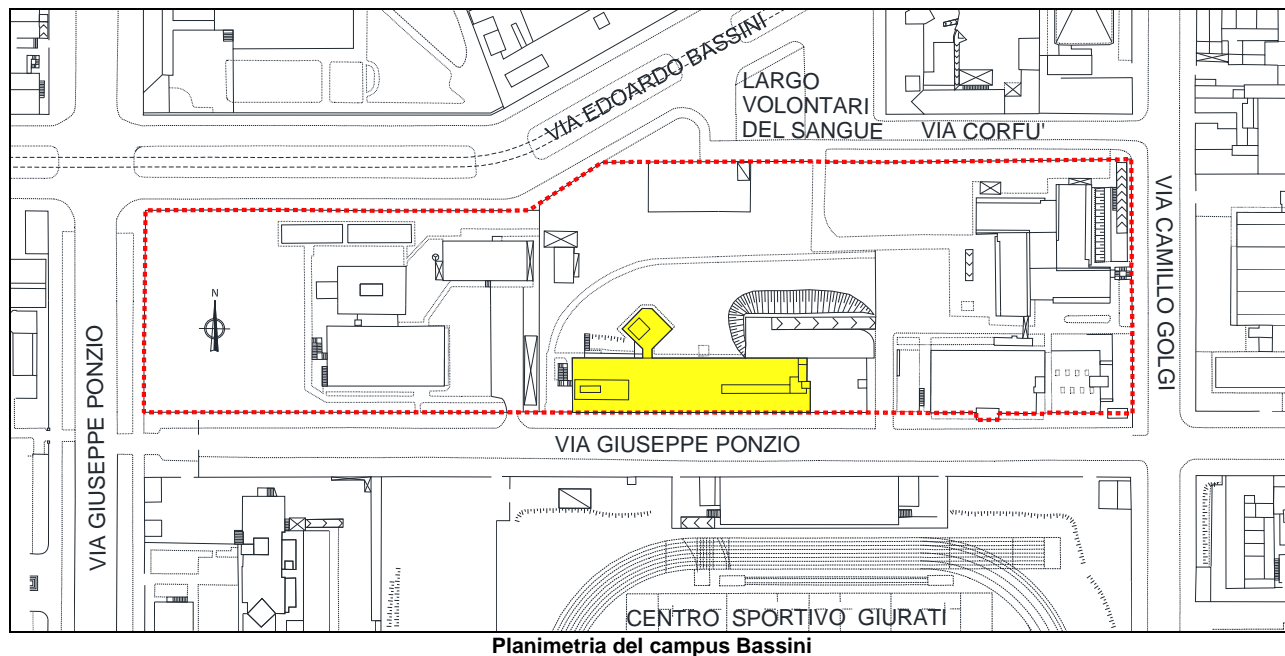
Codice Documento													Formato																																											
<table><tr><td colspan="3">fase</td><td colspan="3">progressivo</td><td colspan="3">categoria</td><td colspan="3">numero</td><td colspan="3">revisione</td></tr><tr><td>P</td><td>E</td><td>.</td><td>0</td><td>0</td><td>2</td><td>.</td><td>E</td><td>G</td><td>.</td><td>0</td><td>0</td><td>2</td><td>.</td><td>R</td><td>2</td></tr></table>													fase			progressivo			categoria			numero			revisione			P	E	.	0	0	2	.	E	G	.	0	0	2	.	R	2	A4												
													fase			progressivo			categoria			numero			revisione																															
													P	E	.	0	0	2	.	E	G	.	0	0	2	.	R	2																												
													Nome file:																																											
PE_02EG02_2_RELAZIONE GEN.pdf																																																								
Revisione		Data		Revisione		Data		Redatto da:			D.P.		Spazio note, timbri e firme:																																											
0	emiss.	26/06/2017		4	rev.			Controllato da:			G.N.																																													
1	rev.	13/07/2017		5	rev.			Approvato da:			G.N.																																													
2	rev.	26/07/2017		6	rev.			Verificato da:			Cont.																																													
3	rev.			7	rev.			Validato da:			G.N.																																													

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>SINTESI MOTIVAZIONI E FINALITA' .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>STATO DI FATTO .....</b>	<b>5</b>
3.1	Cenni storici.....	5
3.2	Inquadramento urbanistico .....	5
3.3	Descrizione dell'immobile .....	6
3.4	Indagini eseguite .....	11
<b>4</b>	<b>PROGETTO PRELIMINARE .....</b>	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>VALUTAZIONE DELLE ALTERNATIVE PROGETTUALI .....</b>	<b>20</b>
5.1	Soluzione 2 – Facciata vetrata con tamponamenti pilastri (a nord e sud) e sottofinestra (solo a nord) .....	21
5.2	Soluzione 3 – Facciata vetrata con tamponamenti pilastri sottofinestra (nord e sud) .....	26
5.3	Soluzione 4 – Facciata ventilata .....	27
<b>6</b>	<b>VALUTAZIONI ENERGETICHE ED ECONOMICHE SULLE ALTERNATIVE PROGETTUALI .....</b>	<b>32</b>
6.1	Metodologia Analisi Energetica .....	32
6.2	Confronto delle alternative progettuali.....	33
<b>7</b>	<b>PROGETTO – CRITERI PER L'EFFETTUAZIONE DELLE SCELTE PROGETTUALI .....</b>	<b>35</b>
7.1	– Valutazione energetica della soluzione progettuale adottata .....	39
<b>8</b>	<b>PROGETTO – DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI PREVISTI .....</b>	<b>40</b>
8.1	Demolizioni.....	40
8.2	Facciata continua .....	41
8.3	Rivestimento esterno .....	43
8.4	Sistema di controllo della ventilazione naturale .....	46
8.5	Piano terra e portale d'ingresso .....	47
8.6	Corpo servizi .....	49
8.7	Parti apribili .....	50
8.8	Schermature solari.....	52
8.9	Vetrazioni .....	53
8.10	Prospetto ovest e isolamento termico a cappotto .....	54
8.11	Serramenti a piano interrato .....	58
8.12	Coibentazioni e completamenti dell'involucro.....	59
8.13	Tinteggiature e finiture esterne .....	60
<b>9</b>	<b>IMPIANTI ELETTRICI .....</b>	<b>61</b>
9.1	Oggetto dei lavori.....	61
9.2	Rispondenza disposizioni di legge e di norma.....	61
9.3	Destinazioni d'uso dei locali.....	63
9.3	- Criteri generali di progettazione. ....	64
9.4.1	Protezione dai contatti diretti e indiretti.....	64
9.4.1.1	Protezione dai contatti diretti .....	64
9.4.1.2	Protezione dai contatti indiretti .....	64
9.4.2	Protezione delle condutture contro le sovracorrenti (sovraccarichi e cortocircuiti).....	65
9.4.3	Conduttore di terra, conduttore equipotenziale e collettore di terra .....	66
9.5	Fonti di alimentazione dell'energia elettrica .....	67
9.6	Impianto di illuminazione .....	68
9.7	Impianto fotovoltaico.....	68
9.8	Relazione di Calcolo.....	70
<b>10</b>	<b>TEMPI .....</b>	<b>70</b>

<b>11 ORGANIZZAZIONE DEL PROGETTO .....</b>	<b>70</b>
11.1 Mappatura delle facciate .....	71
<b>12 AUTORIZZAZIONI E ASSENTIMENTI .....</b>	<b>72</b>
Allegato 1: Risultati delle analisi sui campioni di Lana Minerale.....	73
Allegato 2: stralcio della relazione tecnica del progetto di prevenzione incendi	77
Allegato 3: Relazione di calcolo Impianti Elettrici.....	82

# 1 PREMESSA

Il presente documento illustra il progetto esecutivo relativo al Rifacimento involucro dell'Edificio 20 sede del D.E.I.B. - Dipartimento Elettronica, Informazione e Bioingegneria presso il Campus Bassini del Politecnico di Milano, via Ponzio, 34/5 – 10133 Milano.



## 2 SINTESI MOTIVAZIONI E FINALITA'

L'intervento di rinnovo delle facciate dell'Edificio 20 è stato inserito nella programmazione triennale 2016-2018 dell'Ateneo e nell'Elenco annuale dei lavori dell'anno 2016.

Gli obiettivi principali di tale intervento sono:

- il contenimento dei consumi energetici tramite l'implementazione dell'isolamento termico dell'involucro;
- il miglioramento del "comfort" ambientale sia durante il periodo estivo che durante il periodo invernale;
- riqualificazione formale e architettonica dei prospetti;
- l'adeguamento alle normative vigenti in materia di sicurezza;
- il miglioramento del "comfort" acustico;
- il miglioramento del "comfort" luminoso.

Il Consiglio di Amministrazione di Ateneo, nella seduta del 15/12/2015, ha approvato l'inserimento del lavoro di rifacimento dell'involucro dell'Edificio 20 nell'Elenco annuale 2016 (voce 4 – cod. lav. 1678\_11) ed approvato il progetto preliminare redatto dall'Area Tecnico Edilizia ed il relativo finanziamento pari ad € 2.700.00,00.

Il progetto, nel rispetto del budget a disposizione, prevedeva la realizzazione di una facciata continua vetrata per quasi l'intero sviluppo del perimetro, come meglio descritto di seguito.

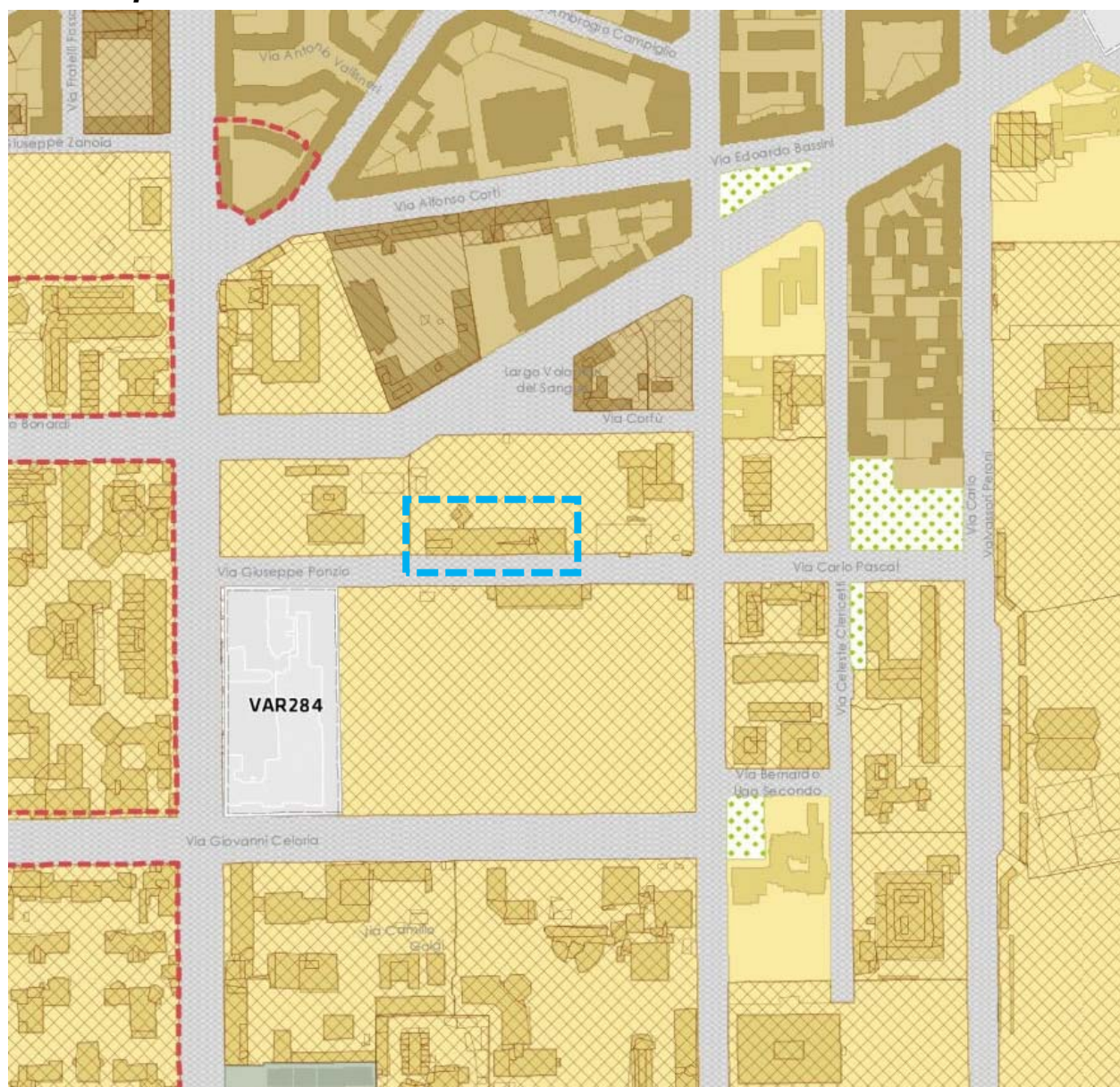
## 3 STATO DI FATTO

### 3.1 – Cenni storici

L'Edificio 20, sede del Dipartimento di Elettronica, risale alla seconda metà degli anni '60 ed è ubicato presso l'area denominata Campus Bassini, che si trova a est dell'insediamento originale dell'Ateneo presso Città Studi oggi identificato come Campus Leonardo; il Campus Bassini è delimitato a nord da via Bassini e a sud da via Ponzio che la separa dall'impianto sportivo Giuriati, ad est di via Golgi e ad ovest di via Ponzio che la separa appunto dal Campus Leonardo.

L'edificio in oggetto, venne progettato nel corso dell'anno 1966 e realizzato in due lotti d'intervento nel periodo immediatamente successivo. Negli anni '90 venne realizzato un ampliamento dell'edificio in aderenza al fronte est che mantiene altezza e profondità del corpo di fabbrica originale, ma si distingue da esso per il diverso stile architettonico. Tale ampliamento è escluso dall'intervento in oggetto perché non necessita della riqualificazione dell'involucro che si rende indispensabile per l'edificio originale.

### 3.2 – Inquadramento urbanistico



Stralcio PGT – PdR – Tav.R.02Var-Indicazioni Morfologiche (Variante 13-03-2017)

L'edificio 20 insiste su un'area compresa dal vigente Piano di Governo del Territorio del Comune di Milano nel Tessuto Urbano Consolidato nell'ambito di seguito specificato:

- R.01: Ambiti disciplinati dal Piano dei Servizi: servizi alla persona esistenti - servizi indispensabili.
- R.01: TUC - Tessuto Urbano Consolidato. TRF - Tessuto urbano di Recente Formazione
- Giudizio di sensibilità paesaggistica: 4 alta
- R.02: ADR Ambiti contraddistinti da un Disegno urbanistico Riconoscibile. Tessuti urbani a impianto aperto artt.14.2.b. e 15.3 PdR
- R.02: Ambiti disciplinati dal Piano dei Servizi.

### **3.3 – Descrizione dell'immobile**

L'orientamento principale dell'Edificio 20, così come evidenziato nella planimetria riportata di seguito, è allineato sulla direttrice est-ovest, pertanto le due facciate principali sono esposte rispettivamente a Sud e a Nord. Al centro del fronte sud, affacciato su via Ponzio, si trova l'ingresso principale, mentre sul fronte nord si innesta un corpo servizi/scale a forma quadrata, ruotato di 45 gradi, con funzione di collegamento verticale dei diversi livelli.

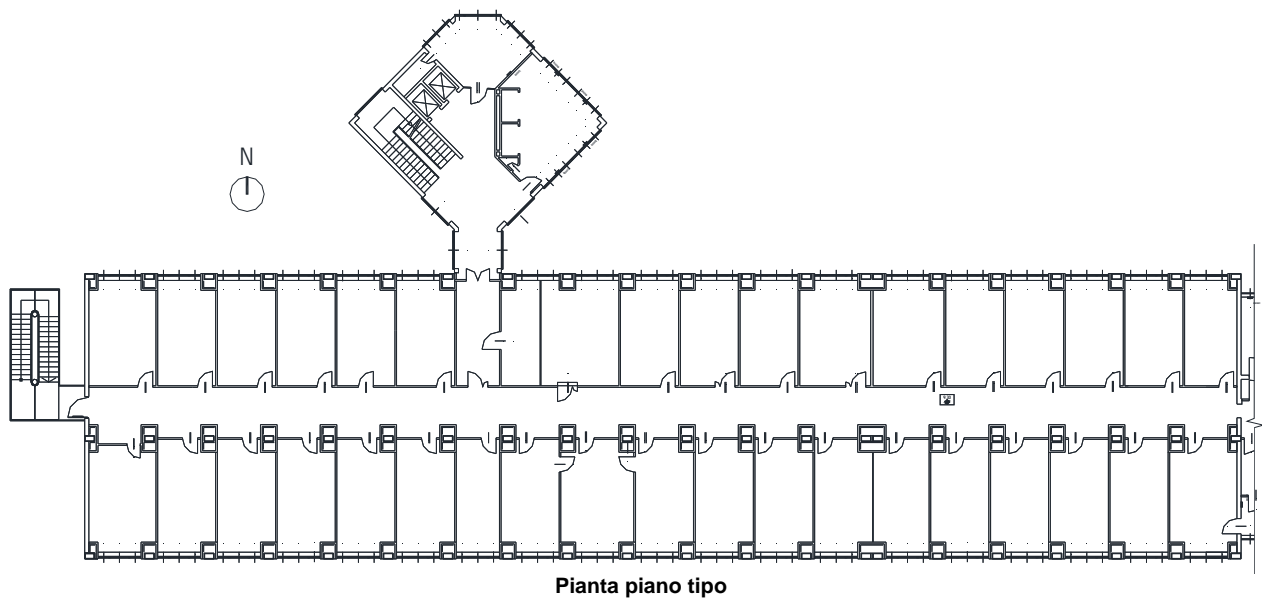
Il fronte ovest è completamente cieco ed ospita le uscite di sicurezza dei vari piani collegate alla “scala d'emergenza” esterna in metallo; dalla parte est l'edificio è invece connesso ad un corpo di fabbrica realizzato successivamente con tecnologia costruttiva differente.

L'immobile ha una pianta rettangolare con dimensioni 70x17 mt ca. e ha quattro piani fuori terra, con un'altezza in gronda di 16,8 mt, e un livello seminterrato. Il corpo servizi, posizionato sul fronte nord serve da collegamento verticale tra i vari livelli tramite una scala e due ascensori e ospita un gruppo di servizi igienici per ogni livello.



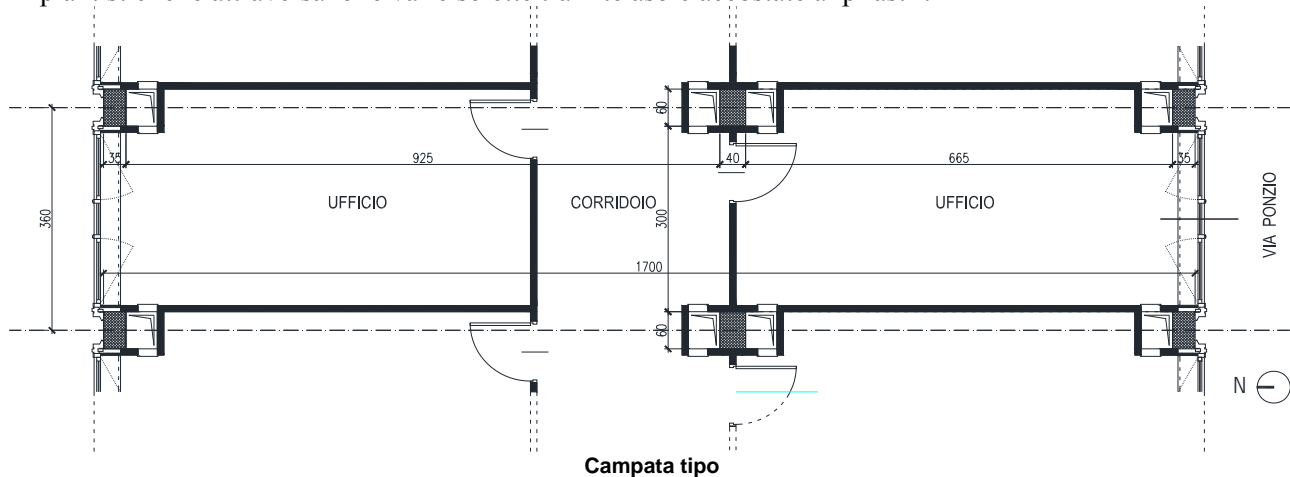
Foto del prospetto Sud su via Ponzio

L'assetto distributivo del piano tipo è caratterizzato da un corridoio centrale disposto sull'asse longitudinale dell'edificio dal quale si accede agli uffici dislocati a pettine con affaccio sui fronti nord e sud.



L'edificio ha una tipologia costruttiva molto semplice: la struttura portante è costituita da pilastri in cemento armato allineati, con passo costante, su due file lungo i lati maggiori della pianta rettangolare e su una fila centrale lungo l'asse longitudinale. I pilastri così disposti formano 19 campate, con interasse costante di 3.60 mt, che ricalcano la disposizione degli uffici. I pilastri sono collegati da travi intradossate che sostengono le solette in cemento. La struttura è interrotta da un giunto strutturale visibile anche in facciata.

Le reti di distribuzione degli impianti meccanici ed elettrici sono alloggiate in appositi cavedi impiantistici che attraversano le varie solette tramite asole accostate ai pilastri.



L'involucro dell'edificio, ad eccezione del fronte ovest, è costituito dai pilastri in cemento armato a vista su cui sono fissati i tamponamenti e serramenti esterni in ferro, alluminio e vetro tramite ancoraggi realizzati in fase di getto dei cementi armati. Tali tamponamenti e serramenti sono evidentemente privi dei requisiti di sicurezza e di efficienza energetica imposti dalle normative attualmente vigenti.

I serramenti sono in alluminio, privi di taglio termico, con vetri monolastra e si estendono per l'intera larghezza della campata; i tamponamenti sottofinestra sono in lamiera d'acciaio con sottilissimo strato di coibentazione in polistirolo.

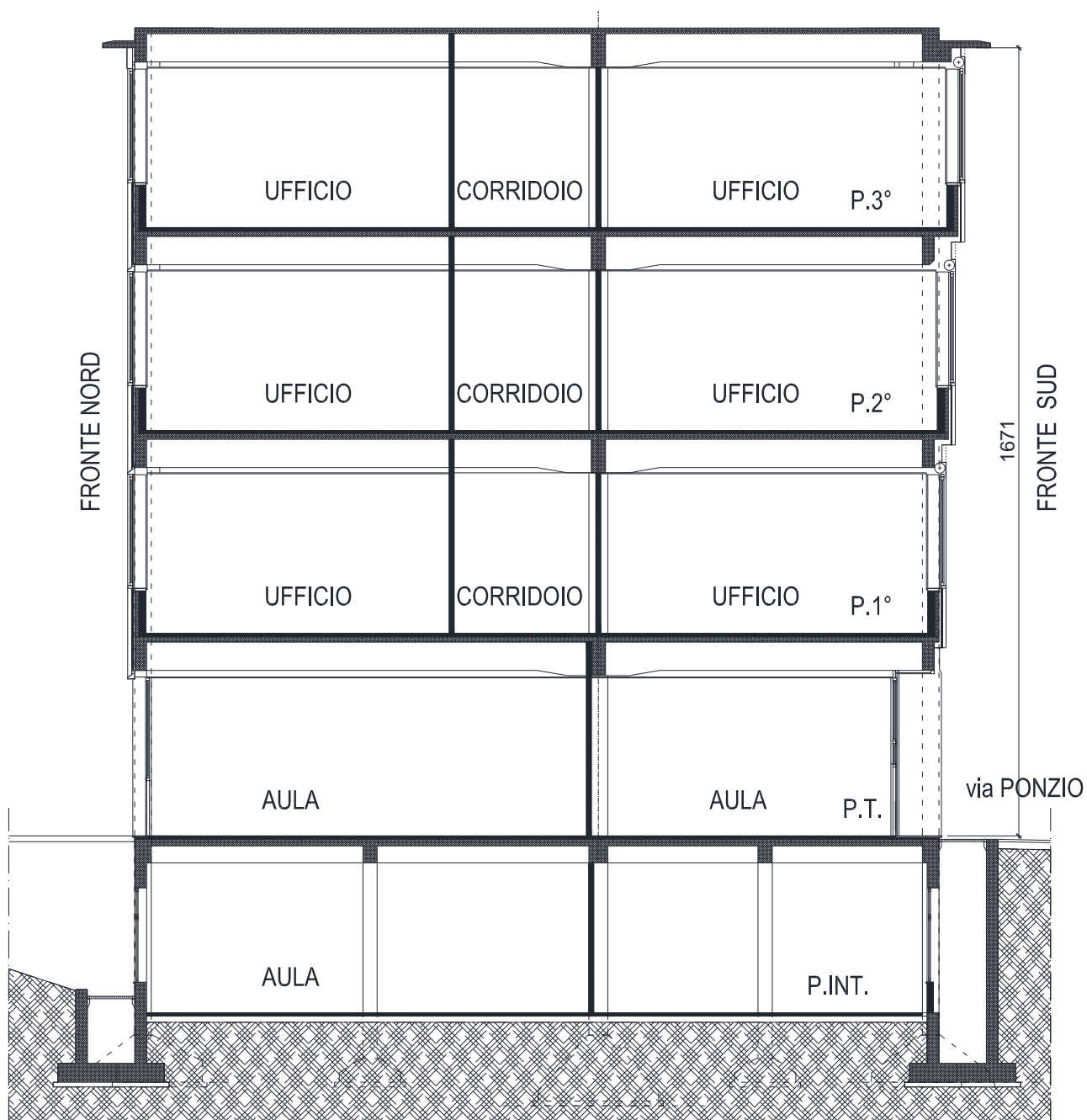
Esternamente i tamponamenti e i serramenti sono rivestiti da carter metallici in prossimità degli ancoraggi ai pilastri.



**Facciata Sud**

Probabilmente a causa della inefficienza energetica, dal lato interno i sottofinestra sono stati successivamente tamponati mediante muretto in calcestruzzo e controtravolato intonacato separati da uno strato coibente in polistirolo. La stratigrafia è stata ricostruita grazie a sondaggi di seguito descritti.

Sul fronte nord gli infissi sono allineati in verticale, mentre sul fronte sud gli infissi sporgono verso l'esterno di 20 e 40 cm rispettivamente ai piani 2° e 3°. Tali sporgenze sono una scelta progettuale, probabilmente di carattere estetico, che si riflette anche nelle strutture come dimostrato dalle solette dei piani 2° e 3° che sporgono verso l'esterno rispettivamente di 20 e 40 cm.



**Sezione trasversale – stato di fatto**

Al piano terra gli infissi sono arretrati rispetto ai pilastri che vengono messi in risalto con spalle e soglie in lastre di marmo.



**Serramenti esterni a piano terra**

Il prospetto ovest dell'edificio è costituito da una muratura di tamponamento intonacata sulla quale si aprono le sole uscite di sicurezza che collegano tutti i piani con la scala esterna di emergenza in acciaio.



**Facciata Ovest**

La necessità di riqualificazione dell'involucro dell'edificio nasce dall'evidente inadeguatezza dello stesso in oggetto a causa della significativa carenza prestazionale complessiva degli elementi in ferro e vetro

di chiusura e tamponamento; le facciate risultano sicuramente obsolete e non rispondenti alle normative vigenti in tema di contenimento dei consumi energetici. I serramenti, caratterizzati da un basso livello di isolamento termico, dal punto di vista energetico sono “superfici disperdenti” inidonee a trattenere il calore all'interno dell'edificio. Inoltre i serramenti applicati sulla facciata sud non oppongono la necessaria resistenza all'irraggiamento solare nei mesi estivi, e i sistemi oscuranti esistenti sono obsoleti e le vetrate sono prive di proprietà filtranti e riflettenti. I pilastri in cemento armato privi di idonea coibentazione, lasciati a vista nelle facciate, costituiscono un insieme di ponti termici; così come tutte le profilature degli infissi e dei tamponamenti che non presentano alcuna separazione tra “interno” ed “esterno”. Sono inoltre evidenti, mediante la sola osservazione, parecchi punti in cui i tamponamenti risultano addirittura aperti e collegati all'esterno.

L'inefficienza dell'involucro è evidente anche nei confronti della problematica acustica. Gli infissi infatti non hanno caratteristiche idonee a garantire il benché minimo rispetto dei requisiti acustici passivi; sono inoltre presenti ponti acustici che rendono, di fatto, quasi quasi completamente assente l'isolamento acustico di facciata.

La facciata presenta evidenti problematiche dal punto di vista della sicurezza; i vetri monolastra degli infissi possono essere causa, in caso di rottura, degli utenti dell'edificio, all'interno, ed anche all'esterno dei passanti, in caso di caduta.

L'esame dell'involucro dell'edificio 20 ha evidenziato gravi carenze che compromettono il bilancio energetico dell'edificio e rendono necessario un radicale intervento sulle facciate volto al contenimento dei consumi per la climatizzazione. Oltre a tale obiettivo l'intervento consentirà di migliorare le caratteristiche degli elementi di facciata adeguandole alle normative vigenti in tema di sicurezza (altezza dei parapetti, vetri stratificati...)

Riquilibrare l'involucro dell'edificio significa anche modificarne la “pelle”. L'intervento in oggetto costituisce anche una notevole occasione per migliorare l'estetica dell'edificio e di conseguenza valorizzare l'immagine dell'intero campus universitario.

### **3.4 - Indagini eseguite**

Per verificare lo stato di fatto dell'edificio con particolare attenzione alla consistenza e al sistema costruttivo dei tamponamenti di facciata si è proceduto in prima istanza alla raccolta della vecchia documentazione progettuale dell'epoca della costruzione, nonché in un secondo momento a sondaggi e misurazioni sul campo. La raccolta dei dati ottenuti ha portato così alla ricostruzione di un fedele stato di fatto dell'edificio e soprattutto alla descrizione compiuta del sistema compiuto dei tamponamenti in metallo e vetro costituenti l'involucro del corpo edilizio.

Nella fase di ricerca d'archivio dei documenti originali risalenti all'epoca della progettazione si sono trovati parecchi elaborati grafici e alcune relazioni tecniche utili a descrivere la tecnologia delle soluzioni progettuali anche se gli stessi documenti non sono risultati utili ad una completa descrizione del sistema costruttivo effettivamente messo in opera sul cantiere. In particolare molto utile è stato il dettagliato progetto di ingegneria strutturale basilare per disegnare con precisione le piante e i prospetti dell'edificio, per definire i dimensionamenti precisi degli elementi strutturali e di conseguenza della campitura dell'edificio nel suo insieme.

A seguire la del rilievo e sondaggio sul campo è stata basilare per arrivare alla compiuta descrizione dell'edificio nel suo insieme e dell'involucro edilizio nello specifico. Questa fase è necessariamente durata alcuni giorni in quanto è stata condotta secondo successivi gradi di approfondimento e non senza difficoltà dato la complicazione del sistema costruttivo adottato e al riscontro di varianti in corso d'opera effettuate alla progettazione originaria immediatamente apportate o di modifiche successive di elementi dell'edificio stesso in occasione di manutenzioni straordinarie effettuate negli anni.

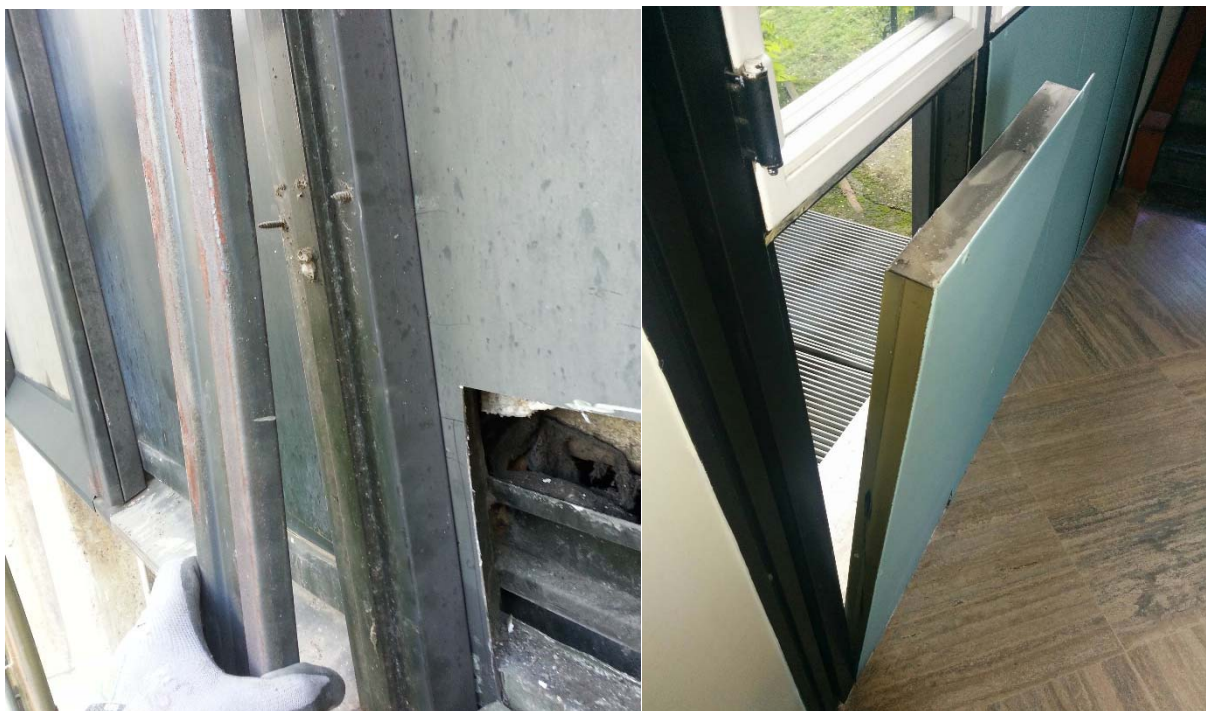


Foto degli assaggi sull'involucro esterno

In particolare il sondaggio e relativo rilievo della situazione dell'involucro esterno dell'edificio ha portato all'evidenza di un sistema costruttivo di tamponamenti di facciata in metallo e vetro composti da vari elementi solidamente uniti tra loro, tassellati o addirittura saldati, tali da formare un tamponamento che si potrebbe definire monoblocco per la presenza solidale di elementi metallici strutturali, lamiere di tamponamento, infissi in ferro e vetro e carter di chiusura, integrati nell'elemento di tamponamento di facciata. Sempre all'esterno si è verificata la presenza di elementi d'isolamento, anche se di dimensioni ridotte, costituiti da lastre di polistirolo attaccate alle lamiere esterne di chiusura tali da costituire un limitato sistema isolante per l'involucro.



Foto degli assaggi sull'involucro Interno

Il sondaggio dall'interno ha portato alla constatazione della presenza di un sistema di fissaggio dell'elemento monoblocco costituente il tamponamento di facciata ai pilastri dell'edificio tramite elementi metallici appositamente annegati nei getti originari, nonché alla verifica della consistenza del muretto sottodavanzale che oltre ad essere costituito di muratura di laterizio è risultato includere anche uno starto in ca e un isolamento in polistirolo.



**Muratura sottofinestra**

Per escludere la possibile presenza di amianto nell'edificio, si è indagata la natura della lana minerale presente all'interno dei carter metallici che rivestono le spalle interne dei serramenti e i cavedi impiantistici adiacenti ai serramenti da demolire. A questo scopo sono stati analizzati in laboratorio due campioni prelevati da un ufficio al piano primo e da un ufficio al piano terzo.

I risultati di tali analisi, che si allegano alla presente relazione, hanno evidenziato che le fibre della lana minerale non sono da considerarsi cancerogene (vedi allegato 1).

## **4 PROGETTO PRELIMINARE**

L'ipotesi sviluppata, nel progetto preliminare approvato il 15/12/2015, prevede l'utilizzo di facciate continue con struttura a montanti e traversi in profilato di alluminio a taglio termico con specchiature vetrate completamente trasparenti sui fronti nord e sud, e l'utilizzo di isolamento termico a cappotto sul fronte cieco ad ovest. Il progetto inoltre prevede, sulla facciata sud, l'inserimento di frangisole per garantire la schermatura dalle radiazioni durante la stagione estiva ed a permettere, invece, l'apporto positivo delle radiazioni incidenti durante la stagione invernale.

Nella determinazione dei "pacchetti" di facciata si è tenuto conto delle recenti modifiche della normativa in materia di contenimento dei consumi energetici e le scelte sono state effettuate in modo da garantire valori di trasmittanza degli elementi dell'involucro inferiori a quanto previsto per il 2021 (tabelle dell'Appendice A dell'Allegato 1 del cosiddetto Decreto requisiti minimi (Decreto Interministeriale 26/06/2015))

La realizzazione di un isolamento termico a cappotto in pannelli di polistirene espanso sui fronti ciechi garantisce un valore di trasmittanza  $U=0,16 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  per le parti opache dell'edificio in conformità a quanto previsto dalla normativa.



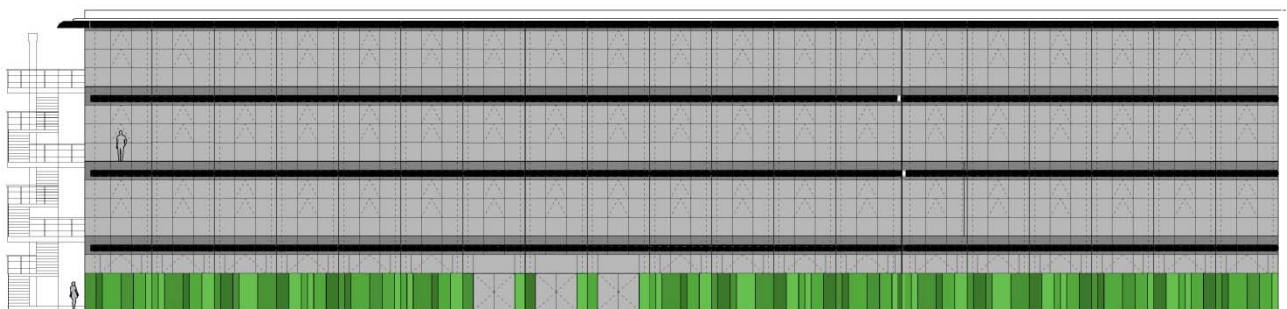
Localizzazione Cappotto

### ***Facciata Continua vetrata trasparente***

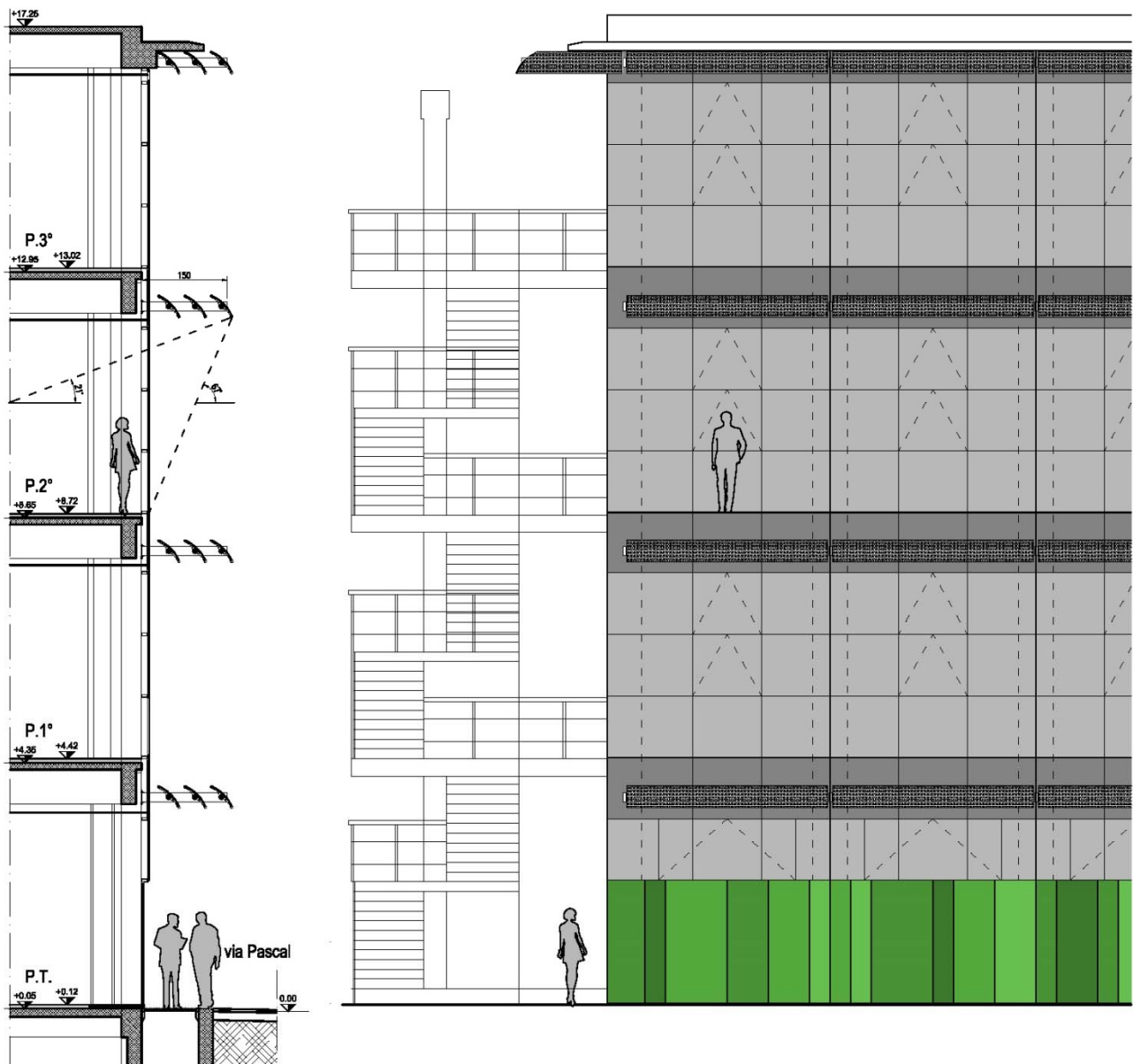
Sui fronti nord e sud dell'Edificio 20 e su parte del corpo servizi, il progetto preliminare prevede la realizzazione di una facciata continua a montanti e traversi, reggenti un tamponamento completamente vetrato, con campitura regolare tra gli elementi portanti.

La fascia interpiano in corrispondenza dei solai, è costituita da pannellature vetrate cieche, tamponate internamente e coibentate. In corrispondenza di tale fascia marcapiano sul fronte sud vengono installati i frangisole metallici.

Sul fronte sud è inoltre previsto un tamponamento a piano rialzato costituito da pannelli coibentati con finitura esterna in alluminio elettrocromato per garantire la privacy degli utenti alloggiati al piano terreno. Viceversa sul fronte nord la facciata rimane trasparente anche al piano terreno.

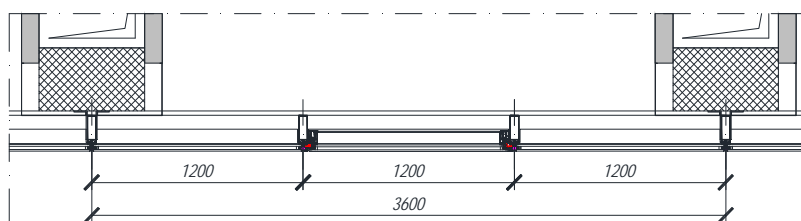
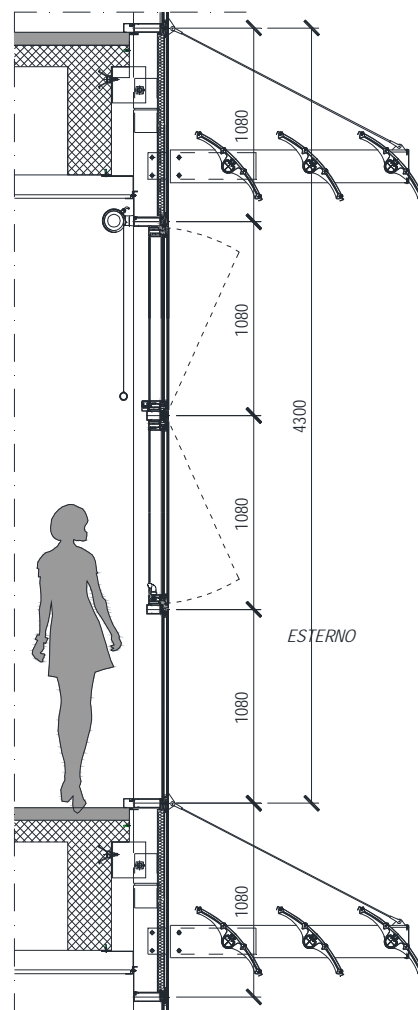
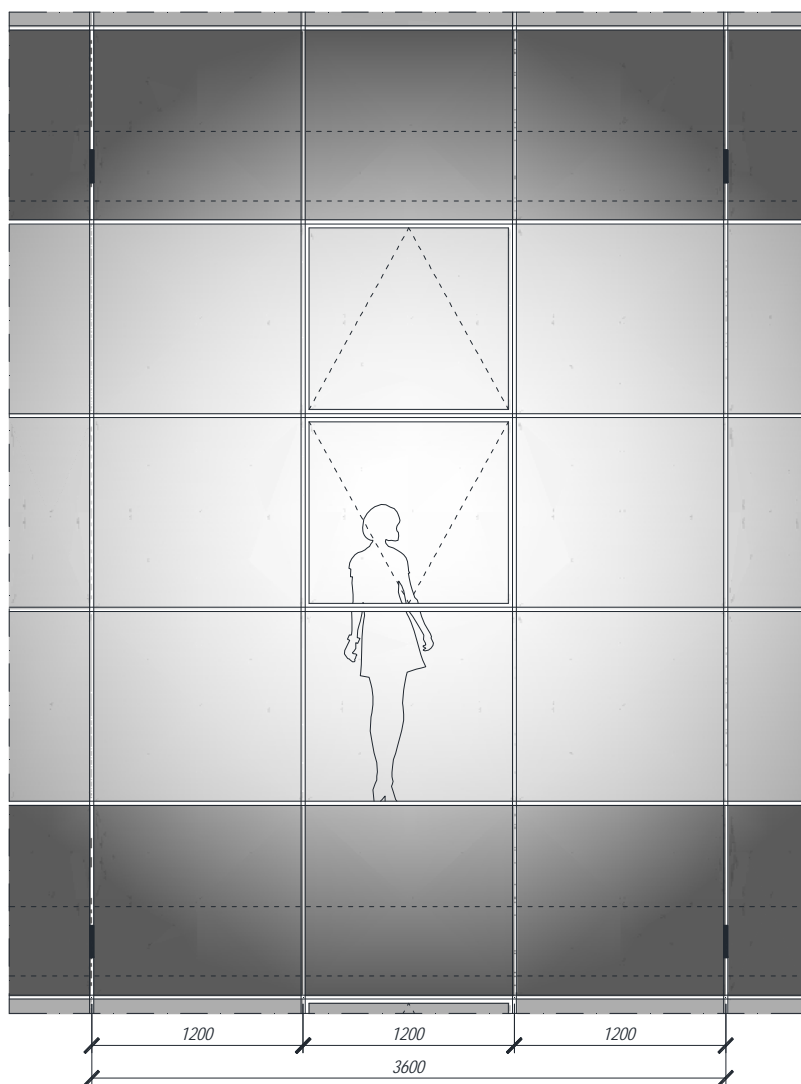


Prospetto sud

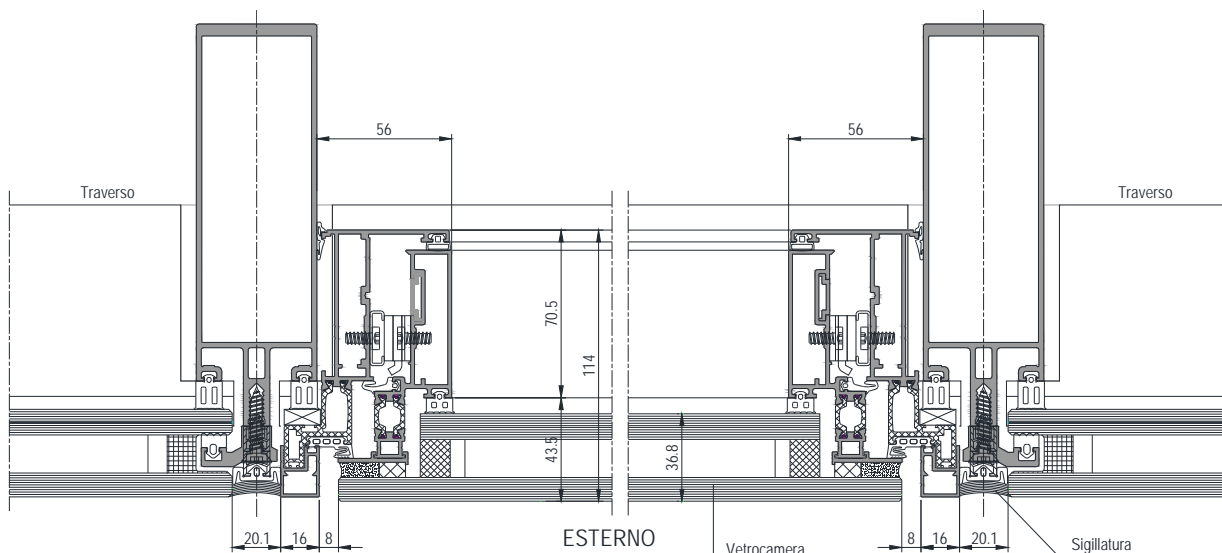


Il reticolo della facciata continua, sottomultiplo del reticolo strutturale dell'edificio, è costituito da specchiature di dimensioni 120 x 108 cm.

La sezione architettonica dei profilati, montanti e traversi, all'interno ed all'esterno è di 50mm. Dall'esterno rimangono visibili solamente le parti vetrate ed i giunti di 20 mm opportunamente sigillati.



**Porzione tipo di facciata continua**



**Profili parti apribili**

### ***Pannelli Vetrati***

La vetrata previste per la facciata continua avevano la seguente composizione:

- **Lastra esterna:** lastra di vetro temprato sp. mm 10, con una faccia resa selettiva e bassoemissiva
- **Intercapedine,** equilibrata con Gas Argon 90%.
- **Lastra interna** di vetro stratificato 55.2, composto da due lastre di vetro chiaro, PVB acustico per uno sp. totale di mm 10/11, classe 1B1, antinfortunio, secondo la norma UNI EN 12600.

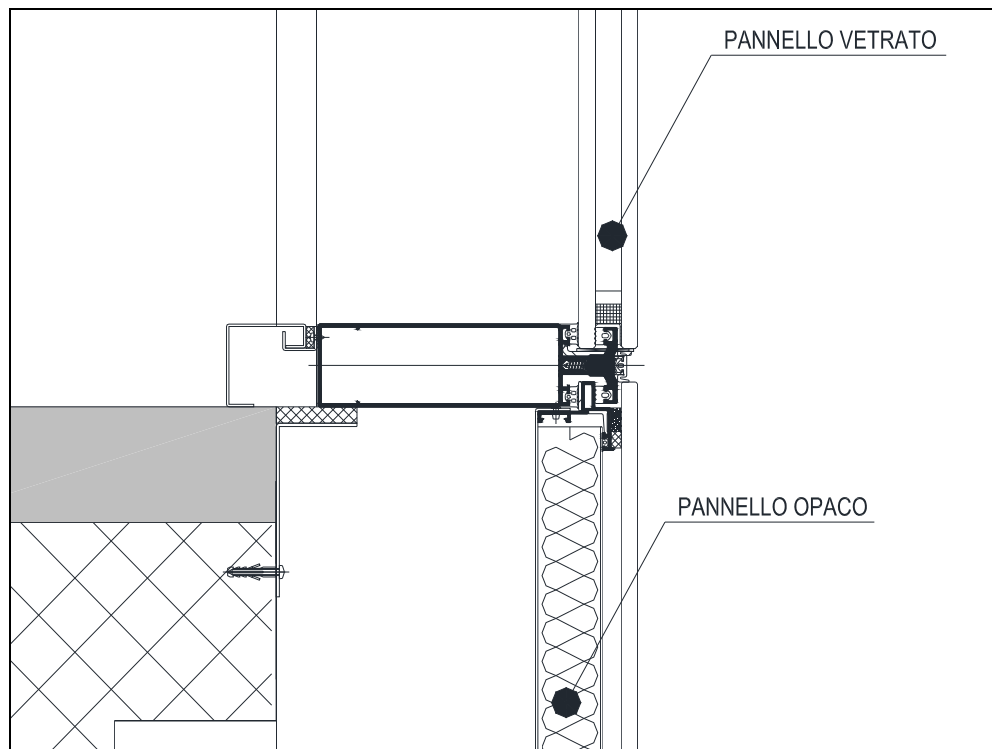
I parametri termofisici: delle vetrature in progetto variano a seconda dell'esposizione:

- **vetrature rivolte a Sud:**
  - o Perdita di trasmissione sonora :  **$R_w(C;C_{tr}) = 44(-2;-6)$  dB**
    - **Fattore Solare: 0,27**
  - o Trasmittanza termica (EN673-2011)
    - **$U_g : 1,0 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$**
- **vetrature rivolte a Nord:**
  - o Perdita di trasmissione sonora :  **$R_w(C;C_{tr}) = 44(-2;-6)$  dB**
    - **Fattore Solare: 0,36**
  - o Trasmittanza termica (EN673-2011)
    - **$U_g : 1,0 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$**

### ***Pannelli opachi***

Oltre alle specchiature trasparenti la facciata continua è dotata di pannelli opachi posizionati, come detto, ad ogni piano, sulla fascia delle solette e delle relative trave di bordo intradossate. I pannelli opachi avranno la seguente composizione:

- vetro 8mm temprato retrosmaltato (verniciato) colore RAL da definire
- intercapedine aria 12mm
- materiale isolante spess. 14 cm in polistirene sinterizzato con aggiunta di grafite (conducibilità termica  $\lambda_D 0,030$ )
- interno: lamiera di acciaio zincato per le zone non visibili (davanti alle murature)



**Nodo pannello opaco / pannello trasparente**

### ***Isolamento Termico***

L'interruzione del ponte termico fra la parte strutturale interna e le copertine esterne è realizzata mediante l'interposizione di uno o più listelli estrusi di materiale sintetico termicamente isolante. Il materiale del listello usato come distanziale permetterà il fissaggio meccanico dei pressori mediante viti auto filettanti senza bisogno di preforatura.

La trasmittanza media termica della facciata, completa in ogni sua parte (alluminio + vetro) dovrà avere un coefficiente  $U_w = 1,4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  (**Trasmittanza termica media**).

### ***Prestazioni di tenuta***

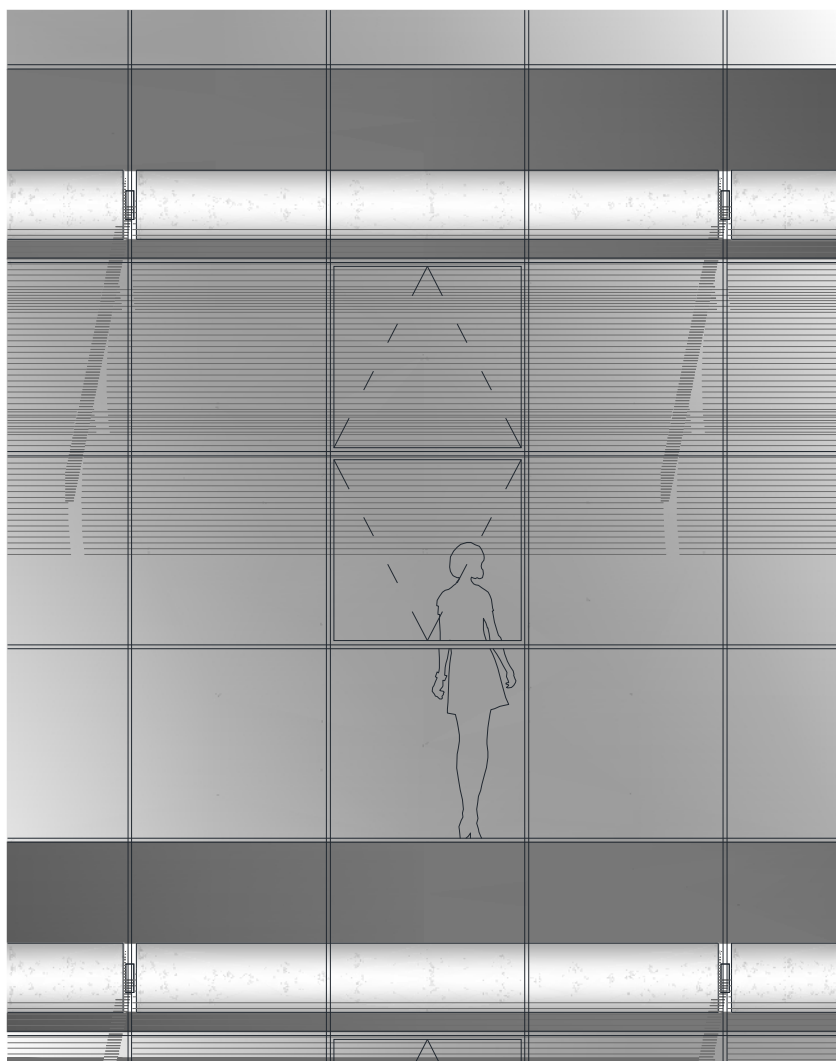
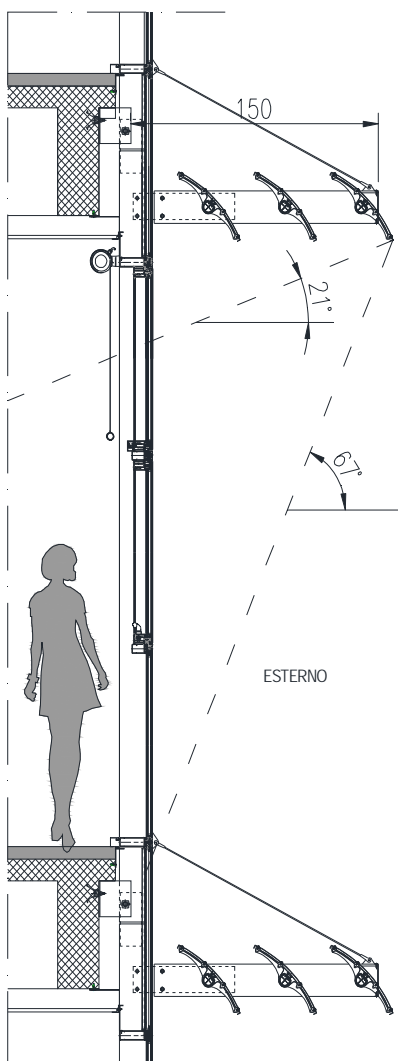
La facciata continua in progetto dovrà garantire le seguenti prestazioni di tenuta:

Tenuta all'Acqua Statica ( EN 12154 )	: Classe RE1050
Permeabilità all'Aria ( EN 12152 )	: Classe 4
Resistenza al Vento ( EN 12179 – EN 13116 )	: Classe 1400/2100 Pa

### ***Schermatura solare***

Sulla facciata sud il progetto preliminare prevede l'installazione di frangisole tali da ridurre del 70% l'irradiazione solare massima sulle superfici trasparenti durante il periodo estivo e tali da consentire il completo utilizzo della massima irradiazione solare incidente durante il periodo invernale in osservanza alla normativa sul contenimento dei consumi energetici della regione Lombardia.

Il frangisole in oggetto è costituito da palette in lamiera di alluminio calandrata, traforata dello spessore di 15/10 con pieghi laterali che le conferiscono rigidità, avvitata ad una struttura leggera composta da un tubo centrale (Ø60 mm.) in alluminio estruso.



**Ombreggiamento schermatura solare**

Tali palette sono fissate su mensole in profili di alluminio vincolate ai montanti della facciata continua e sono sostenute da tiranti in acciaio anch'essi ancorati alla struttura portante della facciata continua. Il passo tra le mensole è pari a quello tra i pilastri ovvero 360 cm. Il frangisole ha un aggetto di circa 140 cm rispetto al filo facciata.

Sul lato interno della facciata continua è prevista l'installazione delle tende a rullo con tessuto in pvc e movimentazione motorizzata per correggere l'illuminazione degli ambienti negli orari più sfavorevoli e garantire la privacy.

Di seguito si riporta la stima delle voci di costo relative all'involucro e il totale a quadro economico:

- Isolamento a Cappotto fronti cieche (441 mq):	33.792,94 €
- Finestre isolate (28,6 mq):	12.272,59 €
- Facciata continua (2.862 mq):	1.431.764,14 €
- Frangisole in lamelle di alluminio (598 mq):	176.236,58 €
- Tende interne a rullo (1.209 mq):	<u>110.973,00 €</u>
- <b>Totale interventi sull'involucro:</b>	<b>1.765.039,25 €</b>
- Demolizioni, ponteggi, sicurezza e opere minori:	<u>372.164,50 €</u>
- <b>Totale lavori:</b>	<b>2.137.203,75 €</b>

Il quadro economico del progetto preliminare, redatto in conformità alle previsioni dell'art. 42 e dell'art. 16 del d.P.R. 207/2010, si può riassumere nelle due macro voci:

- Importo dei lavori:	2.137.203,75 €
- Somme a disposizione dell'ente appaltante:	<u>562.796,50 €</u>
<b>Totale quadro economico:</b>	<b>2.700.000,00 €</b>

La prima voce costo deriva direttamente dal computo metrico estimativo e corrisponde all'importo netto delle opere e dei costi per la sicurezza. La seconda voce comprende le imposte (IVA), le spese tecniche, gli imprevisti e tutte gli importi previsti dalla legge per appaltare i lavori.

L'importo totale, come detto, è stato approvato e finanziato e trova riscontro nell'Elenco Annuale dei lavori, approvato dal C.d.A. a dicembre 2015.

## 5 VALUTAZIONE DELLE ALTERNATIVE PROGETTUALI

Su richiesta del prorettore delegato all'attività edilizia del Politecnico di Milano, la soluzione progettuale del progetto preliminare è stata approfondita dal punto di vista energetico e confrontata con ulteriori soluzioni tecniche allo scopo di migliorare l'efficienza energetica dell'involucro. Oltre al progetto preliminare sono state elaborate tre diverse ipotesi progettuali. Per ognuna di queste soluzioni sono stati stimati anche i costi di realizzazione allo scopo di consentire una valutazione economica degli interventi e delle differenze tra gli stessi.

Le soluzioni sono state sviluppate ed analizzate con il supporto di aziende specializzate nella realizzazione di facciate; i prezzi utilizzati per la determinazione degli importi sono quelli dei listini vigenti nell'area di Milano e, quando non reperibili dai listini; quelli ottenuti dalle offerte delle imprese specializzate. V'è da sottolineare che, nell'ultimo caso, i prezzi sono ottenuti in genere da un'unica offerta e dunque, una volta scelta la soluzione tecnologica, la stessa andrà approfondita con altre aziende produttrici ed i prezzi unitari finali saranno determinati dalla media di più offerte ricevute.

L'analisi energetica è stata condotta sullo stato di fatto e sulle soluzioni che, di massima, sono individuate di seguito:

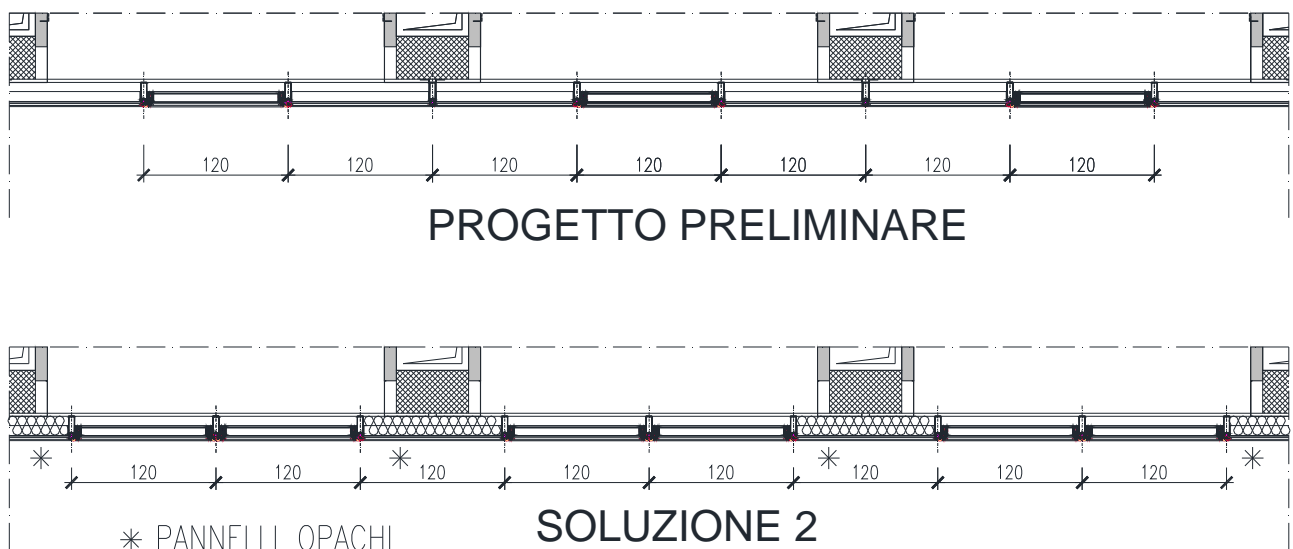
1. Facciata continua vetrata trasparente (progetto preliminare)
2. Facciata continua vetrata con tamponamenti opachi in corrispondenza dei pilastri (tutto involucro) e sottofinestra (a nord)
3. Facciata continua vetrata con tamponamenti opachi in corrispondenza dei pilastri e dei sottofinestra (tutto involucro)
4. Facciata microventilata.

Le soluzioni sono dettagliatamente descritte ed analizzate nei relativi paragrafi della presente relazione.

## 5.1 - Soluzione 2 – Facciata vetrata con tamponamenti pilastri (a nord e sud) e sottofinestra (solo a nord)

L'ipotesi progettuale denominata "Soluzione 2" si differenzia dal progetto preliminare approvato per l'introduzione di varianti finalizzate ad implementare l'efficienza energetica dell'involucro. Sui fronti ciechi dell'edificio si conferma la scelta dell'isolamento termico a cappotto, mentre sulla facciata continua a montanti e traversi vengono introdotte varianti nell'allineamento della facciata con la struttura esistente e nella tipologia dei pannelli opachi.

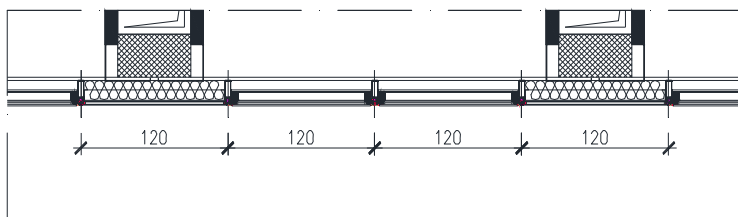
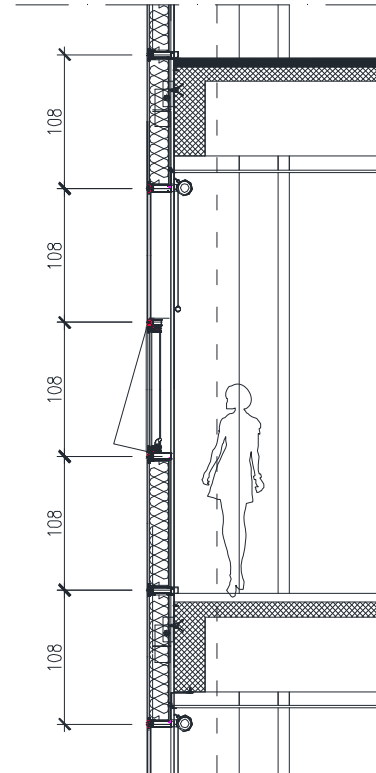
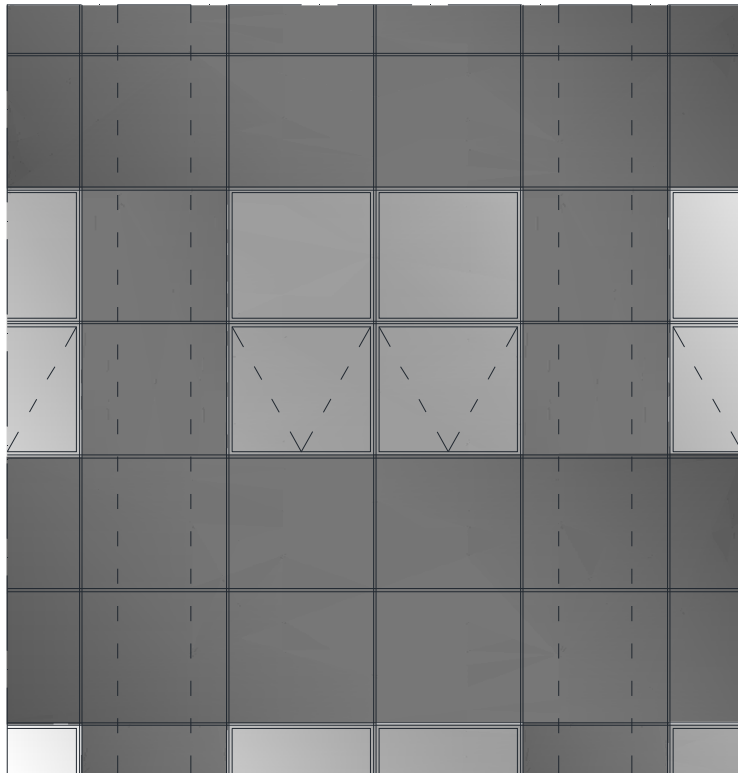
Le dimensioni delle specchiature che formavano la facciata continua del progetto preliminare non vengono modificate. La variante geometrica introdotta nel reticolo di facciata consiste nella traslazione orizzontale dei montanti di 60 cm in modo che le specchiature si sovrappongano ai pilastri. Tale modifica consente di posizionare i pannelli opachi sui pilastri per una migliore coibentazione di tali elementi.



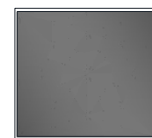
Confronto facciata continua prog. preliminare – soluzione 2

La soluzione 2 prevede l'incremento delle specchiature opache, rispetto al progetto preliminare, che oltre ai solai vanno a coprire, come già detto, i pilastri.

Nell'ottica di migliorare ulteriormente l'isolamento termico della facciata nord, dove la visibilità dall'esterno è ridotta e soprattutto dove non si ha apporto positivo delle radiazioni solari durante la stagione invernale, si è deciso di utilizzare pannellature opache coibentate anche per i sottofinestra.



PANNELLI  
TRASPARENTI

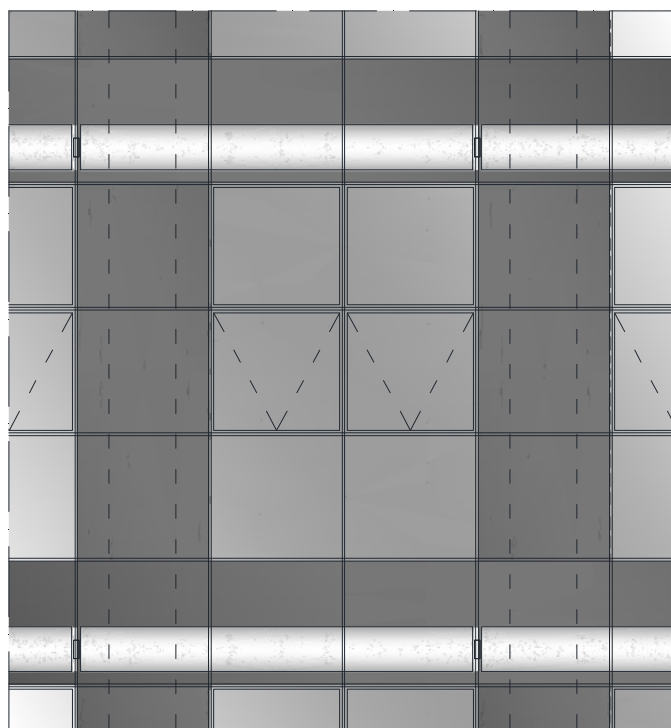
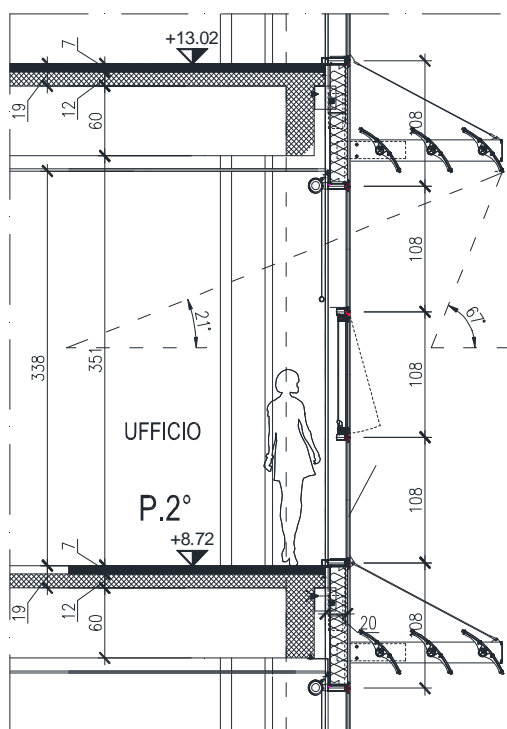


PANNELLI  
OPACHI

**Modulo di facciata fronte nord – soluzione 2**

Sul fronte sud i pannelli sottofinestra vengono lasciati trasparenti per consentire il massimo irraggiamento solare degli ambienti interni nella stagione invernale.

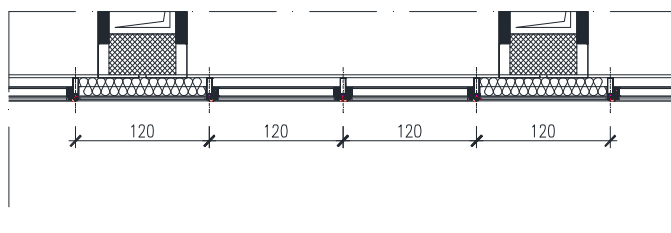
Sul fronte sud vengono inoltre mantenuti i frangisole per l'intera estensione, necessari visto il mantenimento dell'ampiezza verticale delle parti trasparenti.



PANNELLI  
TRASPARENTI



PANNELLI  
OPACHI



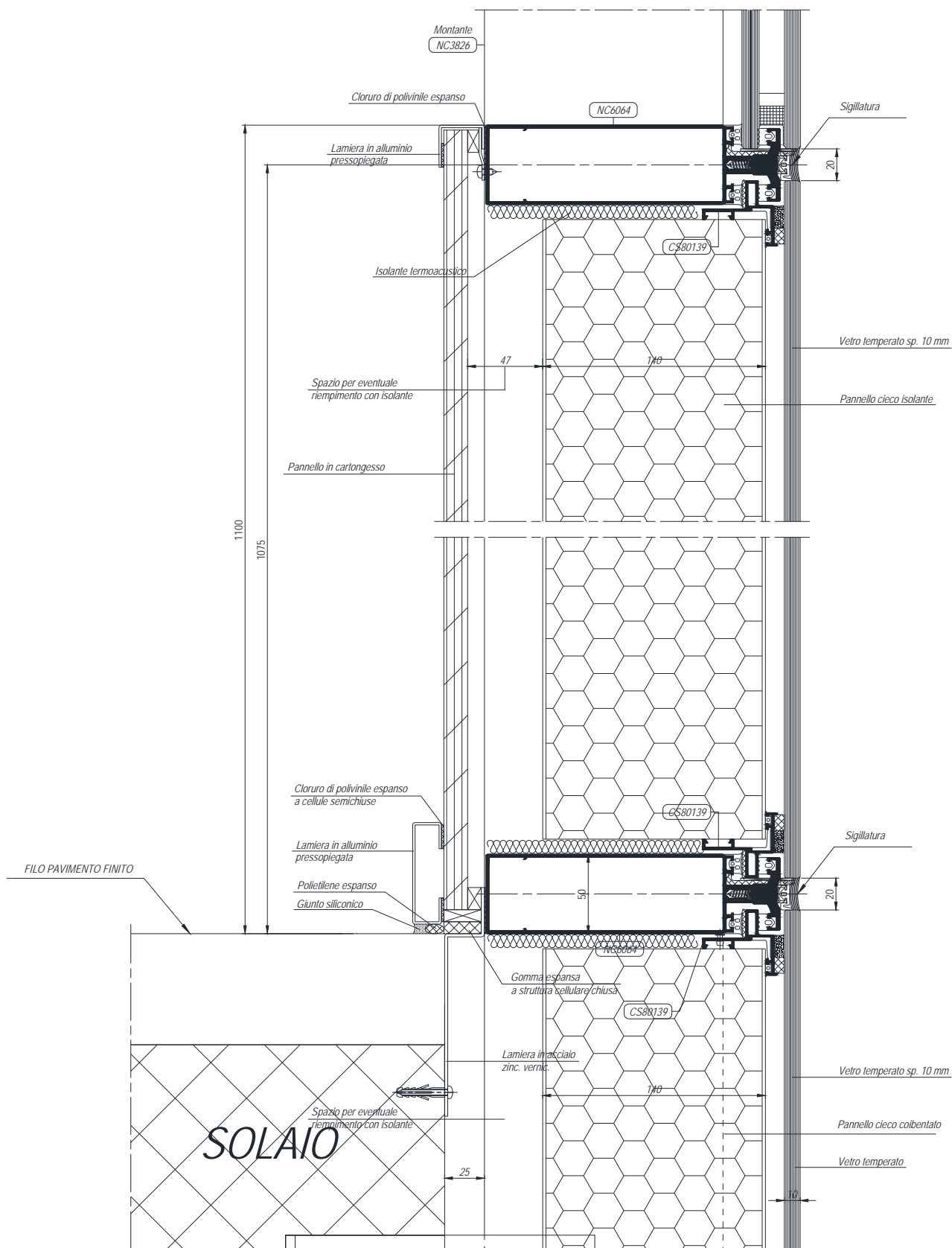
**Modulo di facciata fronte sud – soluzione 2**

La tipologia dei pannelli utilizzata per le parti opache nella soluzione progettuale 2, offre un maggiore isolamento termico. Lo strato isolante di tali pannelli, che nel progetto preliminare era di 4 cm viene aumentato a 14 cm.

Di seguito si riporta la composizione dei pannelli opachi tipo “spandrel”:

- vetro 8mm temprato retrosmaltato (verniciato) colore RAL da definire
- intercapedine aria 12mm
- materiale isolante spess. 14cm in polistirene sinterizzato con aggiunta di grafite (conducibilità termica  $\lambda_D$  0,030)
- interno: controparete con doppia lastra di cartongesso nei sottofinestra oppure lamiera di acciaio zincato per le zone non visibili (davanti alle murature)

Si riporta di seguito la rappresentazione grafica in cui risulta evidente la maggiorazione dei profili portanti rispetto alla soluzione precedente, che consente l'utilizzo di coibentazioni più performanti.



**Pannello Opaco tipo “spandrel”– soluzione 2**

Di seguito si riporta la stima delle voci di costo relative all'involucro per la soluzione n.2 e il totale a quadro economico:

- Isolamento a Cappotto fronti cieche (441 mq):	33.792,94 €
- Finestre isolate (28,6 mq)	12.272,59 €
- Facciata continua (2.862 mq):	1.550.035,00 €
- Frangisole in lamelle di alluminio (598 mq):	176.236,58 €
- Tende interne a rullo (993 mq):	<u>95.421,00 €</u>
- <b>Totale interventi sull'involucro:</b>	<b>1.867.758,11 €</b>
- Demolizioni, ponteggi, sicurezza e opere minori:	<u>372.164,50 €</u>
- <b>Totale lavori:</b>	<b>2.239.922,61 €</b>

Quadro economico (art. 42 e dell'art. 16 del d.P.R. 207/10):

- Importo dei lavori:	2.239.922,61 €
- Somme a disposizione dell'ente appaltante:	585.394,60 €
<b>Totale quadro economico:</b>	<b>2.825.320,00 €</b>

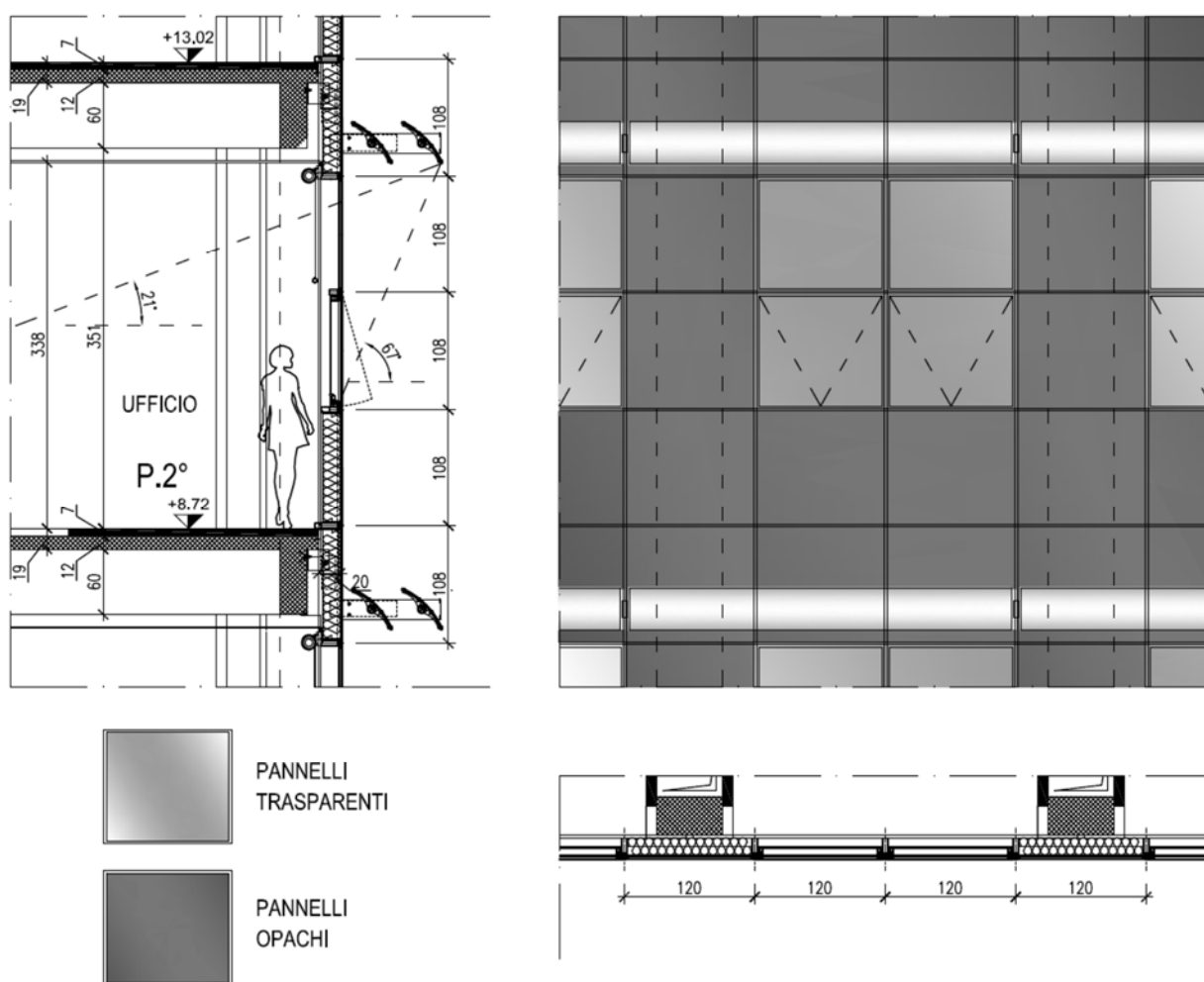
Per effetto delle varianti introdotte con la soluzione progettuale 2 l'incremento di costo degli interventi sull'involucro è di 102.718,86 € a cui corrisponde un incremento dell'importo totale a quadro economico di 125.320,00

## 5.2 - Soluzione 3 – Facciata vetrata con tamponamenti pilastri sottofinestra (nord e sud)

L'ipotesi progettuale denominata "Soluzione 3" è sostanzialmente una variante della "Soluzione 2". L'unica differenza tra le due soluzioni progettuali è l'estensione al fronte sud delle pannellature opache sottofinestra a vantaggio dell'isolamento termico complessivo dell'involucro.

In questa soluzione progettuale permangono le differenze delle caratteristiche termofisiche dei vetri in relazione all'orientamento degli stessi e si confermano i frangisole in lamiera di alluminio traforata come nelle precedenti soluzioni progettuali, ma l'ampiezza dello stesso viene ridotta (soltanto n°2 lamelle) in considerazione della presenza dei sottofinestra.

Di seguito si riportano solo gli schemi del fronte sud perché, come già detto, il fronte nord non viene modificato rispetto all'ipotesi progettuale denominata "soluzione 2".



Modulo di facciata fronte sud – soluzione 3

Di seguito si riporta la stima delle voci di costo relative all'involucro per la soluzione n.3 e il totale a quadro economico:

- Isolamento a Cappotto fronti cieche (441 mq):	33.792,94 €
- Finestre isolate (28,6 mq):	12.272,59 €
- Facciata continua (2.862 mq):	1.563.175,00 €
- Frangisole in lamelle di alluminio (395 mq):	116.410,45 €
- Tende interne a rullo (831 mq):	<u>83.757,00 €</u>
- <b>Totale interventi sull'involucro:</b>	<b>1.809.407,98 €</b>
- Demolizioni, ponteggi, sicurezza e opere minori:	<u>372.102,40 €</u>
- <b>Totale lavori:</b>	<b>2.181.510,38 €</b>

Quadro economico (art. 42 e dell'art. 16 del d.P.R. 207/10):

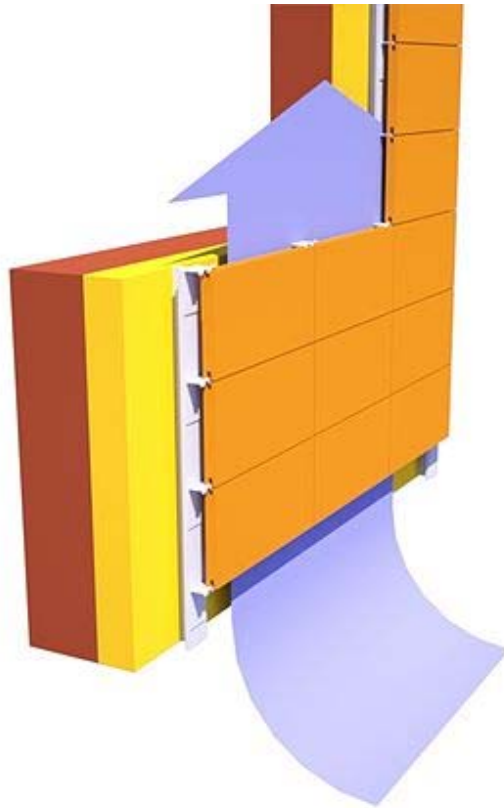
- Importo dei lavori:	2.181.510,38 €
- Somme a disposizione dell'ente appaltante:	<u>585.719,36 €</u>
<b>Totale quadro economico:</b>	<b>2.767.229,74 €</b>

Per effetto delle varianti introdotte con la soluzione progettuale 3 l'incremento di costo degli interventi sull'involucro è di 44.368,73 € a cui corrisponde un incremento dell'importo totale a quadro economico di 67.229,74

### **5.3 - Soluzione 4 – Facciata ventilata**

L'ultima alternativa progettuale presa in esame si differenzia dalle precedenti per la diversa tipologia di facciata continua. Al posto della tipologia a montanti e traversi si prevede la realizzazione di una facciata microventilata. Vengono mantenuti l'isolamento termico a cappotto previsto sui prospetti ciechi e la facciata continua a montanti e traversi solo nel corpo scale.

La facciata ventilata è caratterizzata essenzialmente dalla posizione dello strato di rivestimento esterno, che non aderisce alla parete di tamponamento ma ne risulta distanziato al fine di creare un'intercapedine ventilata. In questo modo, si ottiene la circolazione naturale dell'aria nello spazio dell'intercapedine, per effetto del moto convettivo prodotto dalla presenza di aperture disposte alla base e alla sommità della facciata.



**Schema ventilazione facciata – soluzione 4**

La facciata ventilata è una soluzione costruttiva che permette di proteggere l'edificio dagli agenti atmosferici e di aumentarne notevolmente l'isolamento termo-acustico.

Il presupposto per la realizzazione della facciata ventilata è la realizzazione di un tamponamento interno in muratura con funzione di supporto sul quale applicare lo strato isolante e il sistema di sostegno del paramento esterno costituito da staffe ed ancoraggi metallici.

Di fatto, quindi, la facciata si compone di quattro parti:

- muratura di tamponamento
- strato coibente posato in aderenza al muro di tamponamento
- camera d'aria per assicurare una ventilazione naturale
- paramento di finitura esterno.






Per il paramento di finitura esterno si sono ipotizzate pannellature in gres porcellanato laminato.

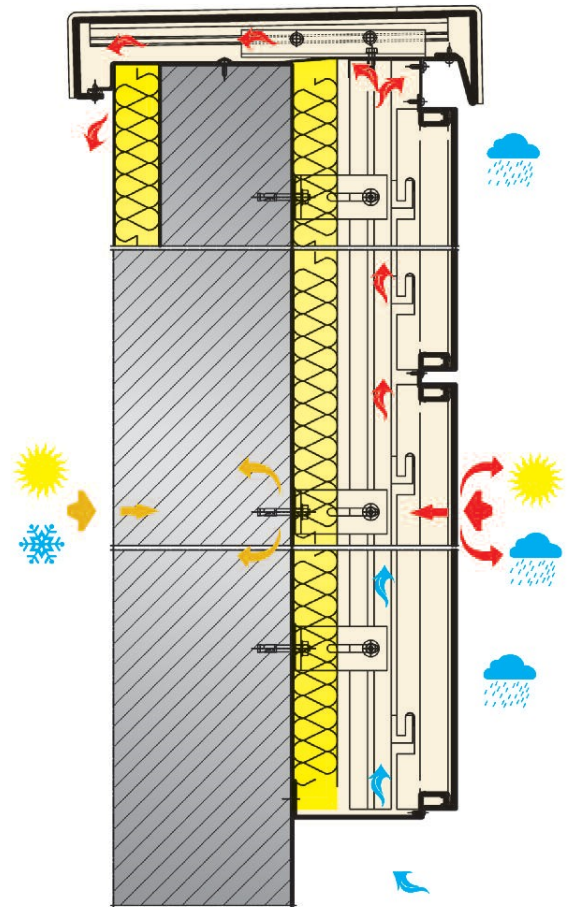
Alla base dell'intercapedine viene collocata una griglia allo scopo di permettere il passaggio d'aria ed al contempo di evitare intrusioni accidentali.

Nella sommità viene posta una scossalina per consentire la fuoriuscita dell'aria ed evitare al contempo l'infiltrazione di acqua piovana.

Il ricambio di aria all'interno dell'intercapedine favorisce l'evacuazione del vapore acqueo proveniente dall'interno dell'edificio, impedendo la formazione di condensa superficiale ed evitando danni provocati dall'umidità persistente.

La facciata ventilata, grazie alla presenza dell'isolante, abbinato alla camera di ventilazione, garantisce un notevole risparmio energetico.

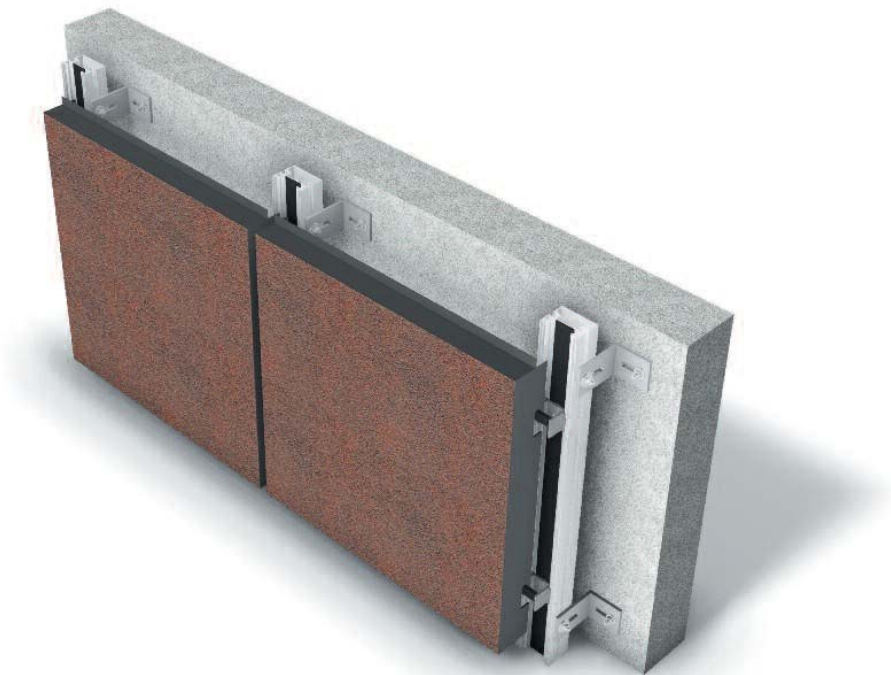
-  Flusso termico interno all'edificio
-  Irraggiamento solare
-  Pannelli isolanti
-  Effetto camino
-  Pioggia



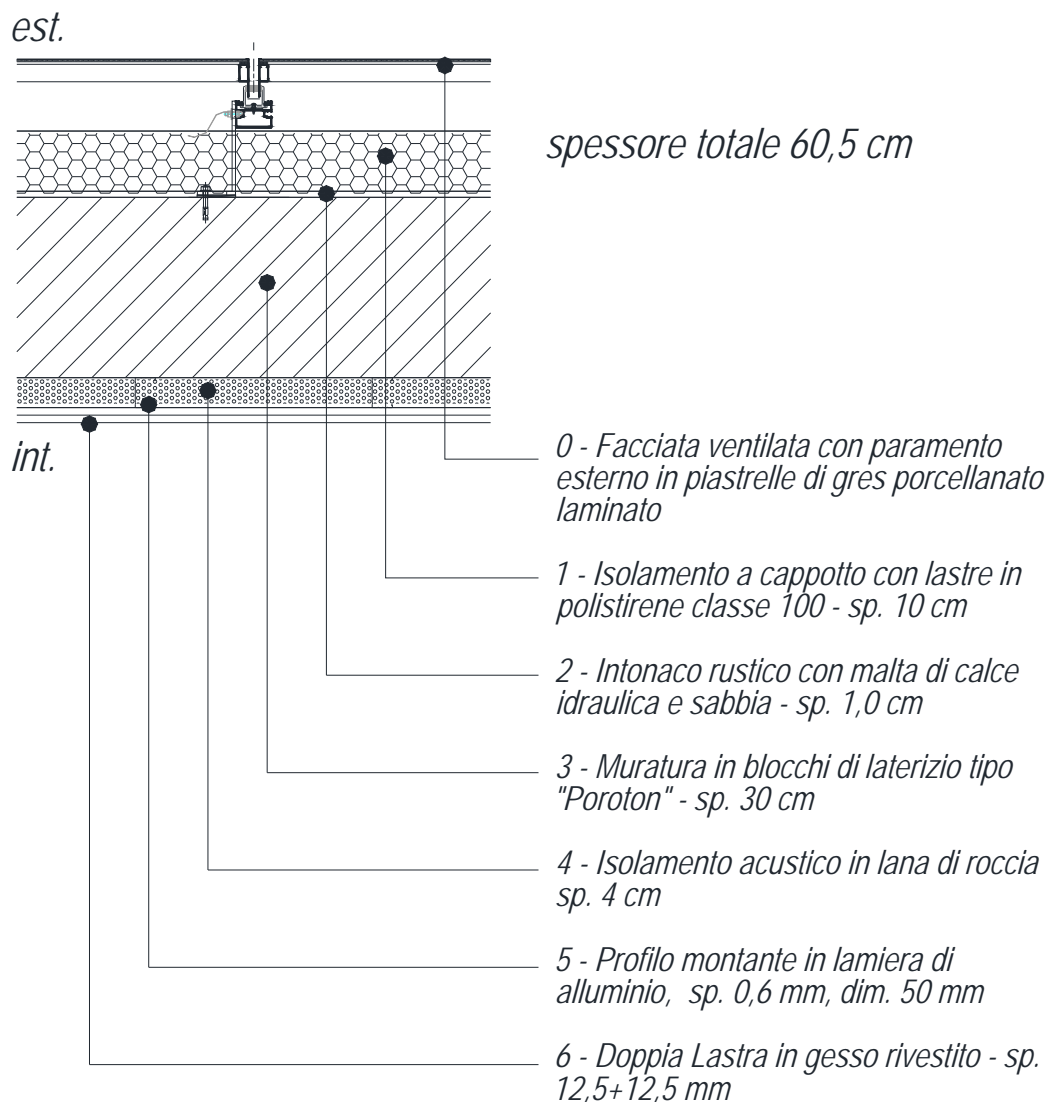
#### Facciata ventilata – soluzione 4

Il paramento di finitura esterno è composto da moduli realizzati con profili a “tenuta” che assicurano notevoli vantaggi in termini di durabilità della parete e dell’intero edificio. Sui telai in alluminio sono fissate piastrelle in gres porcellanato laminato a basso spessore (3,5 mm) rinforzate con rete in fibra di vetro, inalterabili nel tempo, resistenti agli agenti atmosferici, agli attacchi chimici, e ai raggi UV, leggere e di grande formato, antigraffiti, capaci di ridurre notevolmente i costi di manutenzione del rivestimento esterno dell’edificio.

Le dimensioni dei moduli del rivestimento esterno sono uguali alle dimensioni della maglia che caratterizzava i prospetti nelle soluzioni progettuali precedenti: 120 cm di larghezza per 108 cm di altezza.



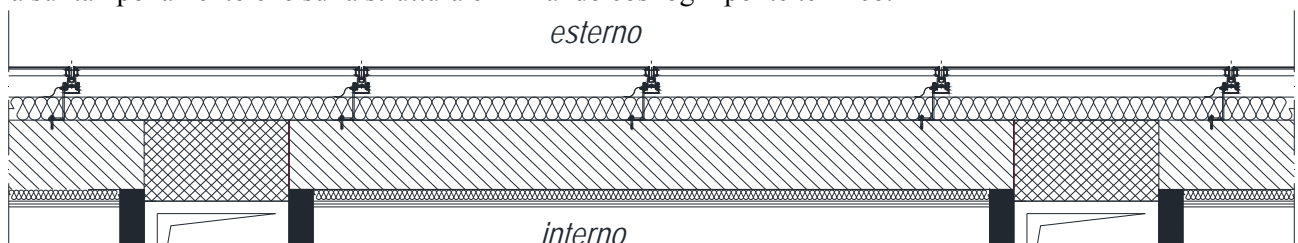
La stratigrafia dell’involucro nell’ipotesi progettuale n.4 è riportata di seguito.



Per quanto riguarda gli infissi, si mantiene la tipologia conforme alle precedenti soluzioni progettuali dal punto di vista prestazionale.

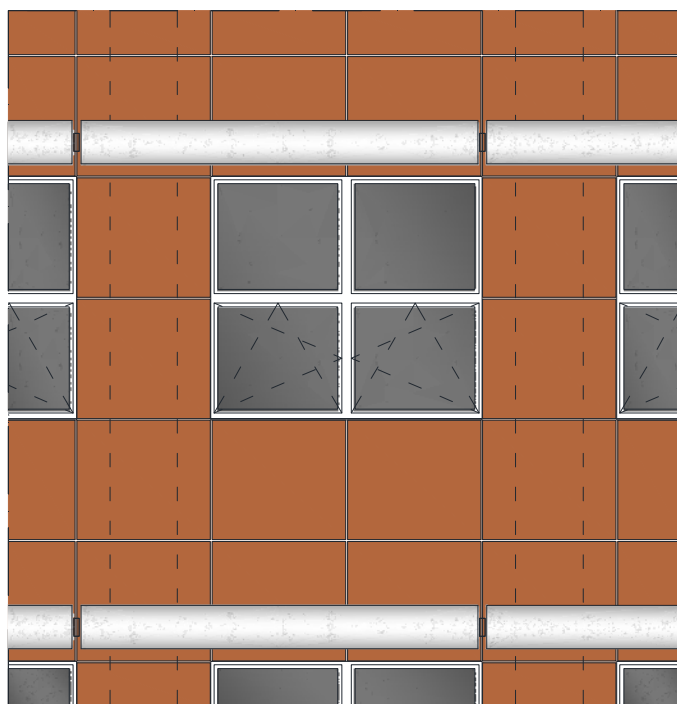
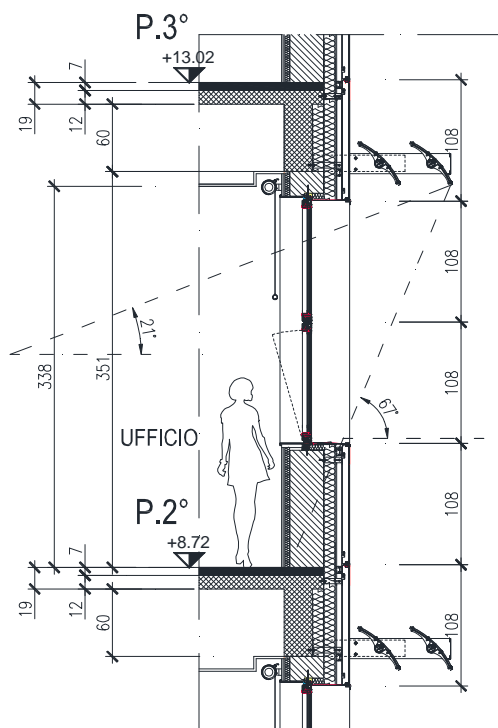
Il nuovo pacchetto murario avrà una trasmittanza pari a  $0,158 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , ovvero un valore parecchio inferiore al valore limite  $U=0,28 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  previsto dalla normativa sul contenimento dei consumi energetici anche dal 2021.

Il filo esterno della muratura di tamponamento in Poroton viene allineato al filo esterno della dei pilastri in cemento in modo che lo strato di isolamento in polistirene esterno si sovrapponga senza soluzioni di continuità sia sul tamponamento che sulla struttura eliminando così ogni ponte termico.



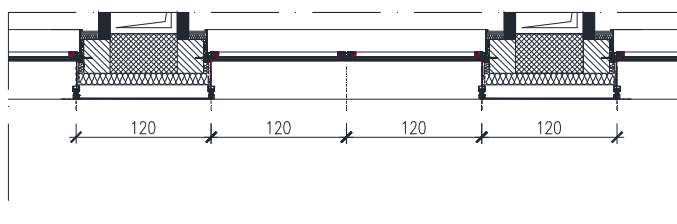
In questa fase viene mantenuto il disegno regolare di facciata delle precedenti soluzioni; la campitura degli infissi risulta in questo caso molto più evidente in quanto i materiali di finitura si differenzieranno evidentemente tra gli infissi e il rivestimento di facciata.

Sulla facciata sud vengono mantenuti i frangisole ma in questo caso l'ampiezza degli stessi è ridotta visto il tamponamento dei sotto-finestra e dunque la ridotta altezze delle parti trasparenti.



SERRAMENTI  
VETRATI

FACCIATA  
VENTILATA



**Modulo di facciata fronte sud – soluzione 4**

Di seguito si riporta la stima delle voci di costo relative all'involucro per la soluzione n.4 e il totale a quadro economico:

- Isolamento a Cappotto fronti cieche (441 mq):	33.792,94 €
- Isolamento a Cappotto facciata ventilata (1547 mq):	75.710,18 €
- Muratura + controparete cartongesso (801 mq):	109.360,34 €
- Finestre isolate (28,6 mq)	12.272,59 €
- Finestre su facciata continua (738 mq)	442.716,00 €
- Facciata continua corpo servizi (577 mq):	329.232,50 €
- Facciata continua ventilata (1547 mq)	538.417,88 €
- Frangisole in lamelle di alluminio (395 mq):	116.410,45 €
- Tende interne a rullo (831 mq):	<u>83.757,00 €</u>
- <b>Totale interventi sull'involucro:</b>	<b>1.741.669,87 €</b>
- Demolizioni, ponteggi, sicurezza e opere minori:	<u>385.640,50 €</u>
- <b>Totale lavori:</b>	<b>2.127.310,37 €</b>

Quadro economico (art. 42 e dell'art. 16 del d.P.R. 207/10):

- Importo dei lavori:	2.127.310,37 €
- Somme a disposizione dell'ente appaltante:	<u>585.719,36 €</u>
<b>Totale quadro economico:</b>	<b>2.687.930,00 €</b>

Per effetto delle varianti introdotte con la soluzione progettuale 3 la diminuzione di costo degli interventi sull'involucro è di 9.893,38 € a cui corrisponde una riduzione dell'importo totale a quadro economico di 12.070,00 €. La riduzione dei costi è anche dovuta alla riduzione della dimensione delle tende a rullo di 378 mq (-20.634,00 €) e all'eliminazione di una lamella del frangisole (59.826,13 €).

## 6 VALUTAZIONI ENERGETICHE ED ECONOMICHE SULLE ALTERNATIVE PROGETTUALI

### 6.1 Metodologia Analisi Energetica

Le soluzioni sviluppate sono state analizzate dal punto di vista del contenimento energetico. L'analisi è stata effettuata utilizzando il software di calcolo di Regione Lombardia, CENED+2.0, modellando l'Edificio 20 e determinando e confrontando, con riferimento alla norma UNI-TS-11300-1 "Prestazioni energetiche degli edifici. Parte 1: determinazione del fabbisogno di energia termica per la climatizzazione estiva ed invernale", i due seguenti indici:

QH,nd - Energia termica utile per il riscaldamento (punto 5.2 UNI-TS-11300-1)

QC,nd - Energia termica utile per il raffrescamento (punto 5.3 UNI-TS-11300-1)

Determinati i fabbisogni energetici, a parità di condizioni, sono stati calcolati gli importi necessari a garantire l'energia necessaria, utilizzando come parametro unitario il costo del metano di 0,6 €/mc e ipotizzando, per il raffrescamento, il rendimenti del cogeneratore pari a 0,5 e dell'assorbitore pari a 0,8.

Viste le finalità dell'analisi (confronto tra le efficienze energetiche degli involucri ipotizzati) e le tempistiche a disposizione, la modellazione dell'Edificio 20 è stata effettuata con le seguenti semplificazioni:

Analisi limitata alla parte di edificio oggetto dell'intervento (omettendo l'estensione ad est)

Omissione dei corpi scala e del piano seminterrato (non interessato dall'intervento).

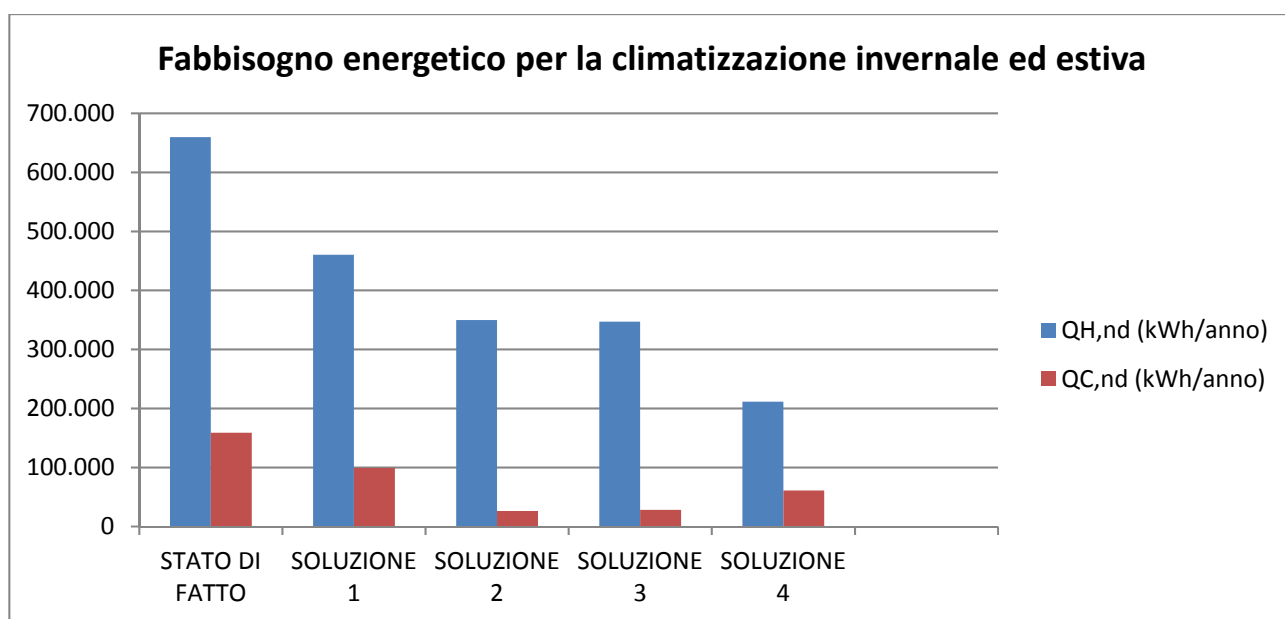
Non sono stati considerati ulteriori indici della norma UNI-TS-11300-1 in quanto l'intervento riguarda unicamente la riqualificazione dell'involucro di facciata e non vengono in alcun modo coinvolti gli impianti a servizio dell'edificio.

## 6.2 Confronto delle alternative progettuali

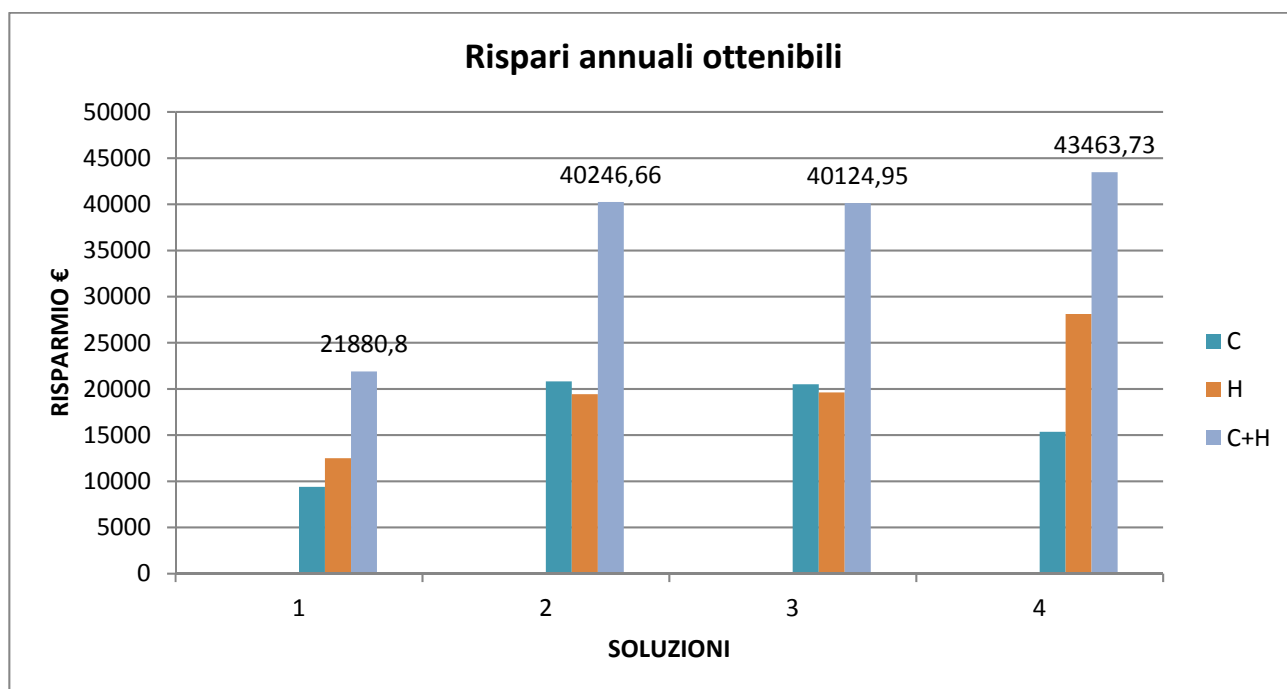
Si riporta di seguito il riepilogo dei dati energetici ed economici relativi delle soluzioni valutate.

	STATO DI FATTO	SOLUZIONE 1 Progetto preliminare	SOLUZIONE 2	SOLUZIONE 3	SOLUZIONE 4 Facciata ventilata
QH,nd (kWh/anno)	659.506	460.363	349.788	346.836	211.376
QC,nd (kWh/anno)	158.877	99.044	26.192	28.149	61.048
€/anno C	€ 24.921,95	€ 15.536,39	€ 4.108,58	€ 4.415,53	€ 9.576,18
€/anno H	€ 41.380,79	€ 28.885,55	€ 21.947,50	€ 21.762,26	€ 13.262,83
<b>€/anno H+C</b>	<b>€ 66.302,74</b>	<b>€ 44.421,94</b>	<b>€ 26.056,08</b>	<b>€ 26.177,79</b>	<b>€ 22.839,01</b>
Risparmio €/anno C		€ 9.385,56	€ 20.813,37	€ 20.506,42	€ 15.345,77
Risparmio €/anno H		€ 12.495,24	€ 19.433,29	€ 19.618,53	€ 28.117,96
<b>Risparmio €/anno H+C</b>		<b>€ 21.880,80</b>	<b>€ 40.246,66</b>	<b>€ 40.124,95</b>	<b>€ 43.463,73</b>
<b>Risparmio %</b>		<b>33,00%</b>	<b>60,70%</b>	<b>60,52%</b>	<b>65,55%</b>
<b>Importo lavori</b>		<b>2.137.203,75 €</b>	<b>2.239.922,61 €</b>	<b>2.181.510,38 €</b>	<b>2.127.310,37 €</b>
<b>Quadro Economico</b>		<b>2.700.000,00 €</b>	<b>2.825.320,00 €</b>	<b>2.767.229,74 €</b>	<b>2.687.930,00 €</b>

Le soluzioni valutate per il rifacimento dell'involucro dell'Edificio 20, descritte nella presente relazione, come visto, producono sensibili diminuzioni del fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva ed invernale, come evidente dal grafico che segue.



Ne consegue un risparmio che passa dal 33% ca. della prima soluzione (progetto preliminare) al 66% ca. dell'ultima soluzione (facciata ventilata).



La differenza maggiore si ha tra la soluzione 1 del progetto preliminare e la soluzione 2. Le ulteriori soluzioni sono di massima allineate.

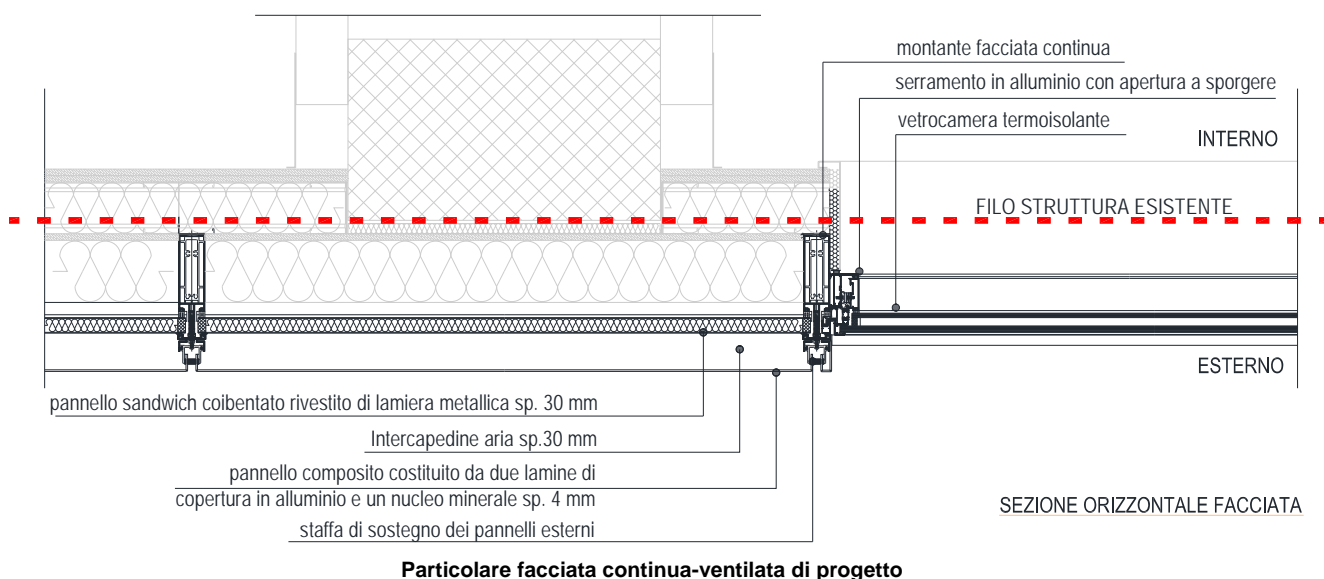
Gli importi corrispondenti per la realizzazione dell'intervento presentano un incremento comparabile per le soluzioni 2 e 3; mentre risulta addirittura più economica la soluzione 4 della facciata ventilata.

## 7 PROGETTO – CRITERI PER L'EFFETTUAZIONE DELLE SCELTE PROGETTUALI

Sulla base dei risultati emersi dal confronto tra le soluzioni progettuali analizzate e su indicazione del prorettore delegato all'attività edilizia la progettazione esecutiva si è concentrata sulla tipologia della facciata ventilata (soluzione n.4) poiché si è rivelata la più efficiente dal punto di vista del contenimento dei consumi energetici in rapporto al costo dell'intervento.

L'ipotesi selezionata è stata oggetto di un'ulteriore approfondimento per verificare la compatibilità degli elementi tecnologici previsti con la struttura edilizia esistente. Tale verifica ha evidenziato un problema legato all'elemento di supporto della facciata ventilata. La soluzione n.4 prevede la realizzazione di un muro di tamponamento interno con funzione di supporto sul quale applicare lo strato isolante e il sistema di sostegno del paramento esterno costituito da staffe ed ancoraggi metallici. La realizzazione di tale tamponamento, in blocchi di laterizio porizzato (tipo poroton o alveolater) andrebbe ad influenzare il comportamento statico edificio. Il D.M. 14/01/2008 (NTC 2008) al capito 8.3 impone che le costruzioni esistenti debbano essere sottoposte a valutazione della sicurezza quando si effettuino anche “interventi non dichiaratamente strutturali, qualora essi interagiscano, anche solo in parte, con elementi aventi funzione strutturale e, in modo consistente, ne riducano la capacità portante o ne modifichino la rigidezza”. Nel caso in oggetto l'inserimento di un tamponamento realizzato con blocchi di laterizio porizzato avrebbe causato una notevole variazione della rigidezza della struttura oltre ad un incremento dei carichi statici. Per ovviare a questo problema si è cercato di sostituire il tamponamento in muratura con un tamponamento “leggero” in lastre di cartongesso con struttura di sostegno metallica interna, tuttavia la facciata ventilata avrebbe richiesto una struttura portante metallica interna a tale tamponamento leggero che avrebbe innescato numerosi ponti termici di difficile correzione.

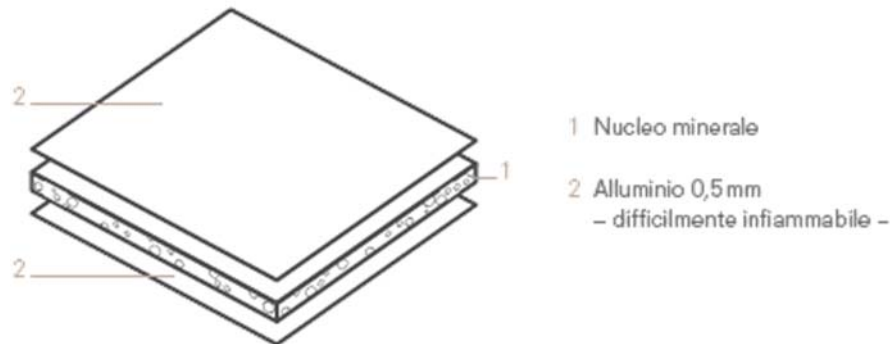
Grazie al confronto con aziende specializzate nella realizzazione di facciate, si è sviluppata una soluzione progettuale alternativa capace di assicurare l'efficienza della facciata ventilata senza introdurre significative modifiche al comportamento statico dell'edificio esistente. La facciata è costituita da una struttura di supporto “tipica” a montanti e traversi in profilati di alluminio, fissati sul filo esterno della struttura dell'edificio, con specchiature opache in pannelli sandwich coibentati rivestiti di lamiera metallica e specchiature trasparenti apribili a sporgere, costituite da serramenti in profili di alluminio a taglio termico con vetrocamera termoisolante. Tale facciata continua assicura l'eliminazione di tutti i ponti termici e la tenuta dell'involucro agli agenti atmosferici. A completamento della soluzione progettuale vengono installati i pannelli che costituiscono il paramento esterno della facciata su apposite staffe ancorate ai profilati costituenti il reticolo strutturale della facciata continua. Tramite il sistema staffa-pannello si realizza una camera d'aria da 30 mm dove si produce la microventilazione tipica della facciata ventilata.



Le proprietà termoisolanti dell'involucro vengono ulteriormente implementate con un isolamento termico a cappotto in lana di roccia, sp. 120 mm, applicato su lastre in cemento rinforzato fissate direttamente sul filo Politecnico di Milano  
Area Tecnico Edilizia

esterno della struttura dell'edificio e da una controparete interna con doppia lastra di cartongesso e pannello coibente in lana di roccia, sp. 100 mm.

Il paramento esterno della facciata ventilata è costituito pannelli compositi costituiti da due lamine di copertura in alluminio e un nucleo minerale.



**Stratigrafia pannello composito**

Le ottime proprietà di tale materiale lo rendono adattabile ai contorni dell'edificio. Grazie alla sua struttura composita il pannello può assumere molte forme, avvolgendo come una seconda pelle la struttura dell'edificio. La buona plasticità non è in contrasto con stabilità e planarità. Ciò è reso possibile dall'altissima resistenza alla flessione dei pannelli. Inoltre i pannelli hanno un'ottima resistenza alle intemperie.

L'utilizzo del materiale composito, grazie alla sua leggerezza, consente l'installazione di pannelli di grandi dimensioni con cui vengono rivestiti in modo uniforme gli elementi strutturali esistenti senza snaturare la geometria originale della facciata. Rimangono leggibili i pilastri e gli sfondati a piano terra.



**Facciata sud – portale d'ingresso**

La flessibilità del materiale consente anche la realizzazione di forme più caratterizzanti come il portale di ingresso sotto raffigurato.

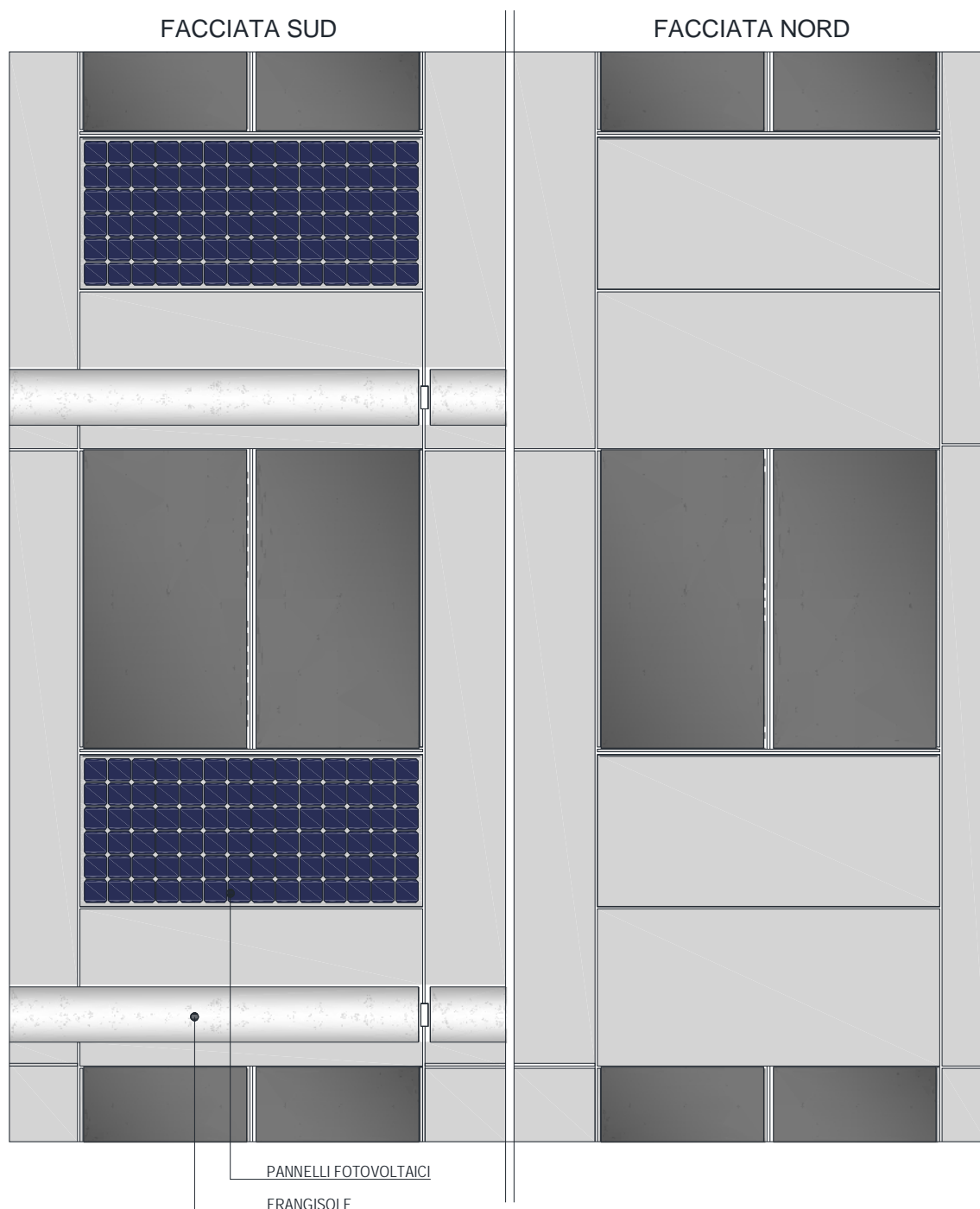


**Facciata sud – portale d'ingresso**

Dal punto di vista geometrico e compositivo i fronti sud e nord sono uguali tranne che per il piano terra dove sul fronte sud l'involucro si conforma alle nicchie esistenti, mentre a nord la facciata rimane allineata su tutti i livelli. Sul fronte sud sono presenti anche schermature solari costituite da palette in lamiera di alluminio microforata.

Un altro elemento che differenzia il fronte sud dal fronte nord è l'applicazione di pannelli fotovoltaici nei sottofinestra ai piani 1°, 2° e 3°. Tali pannelli oltre a migliorare l'efficienza energetica dell'edificio, come di seguito meglio spiegato, si integrano nell'involucro costituendo un elemento compositivo.

La facciata sud incorpora 57 pannelli fotovoltaici, per una superficie totale di circa 142 mq, grazie ai quali si prevede la realizzazione di un impianto fotovoltaico dalla potenza stimata nominale di 22 kWp.



**Confronto facciata sud – facciata nord**

Con riferimento all’involucro del corpo servizi il progetto prevede l’utilizzo della stessa tipologia di facciata del fronte nord con gli adattamenti dettati dalla geometria del corpo di fabbrica. L’unica differenza si manifesta nei corridoi di collegamento tra il corpo servizi e l’edificio principale che avranno sottofinestra vetrati come nella configurazione esistente.

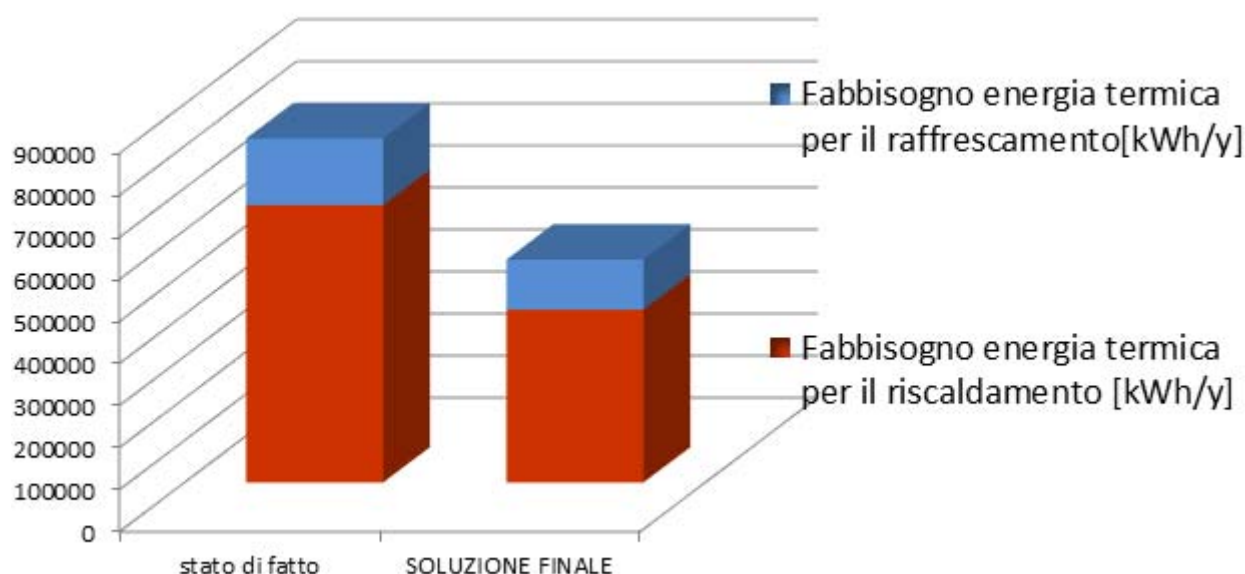
Per il fronte ovest si conferma la scelta del progetto preliminare che prevede la realizzazione di un isolamento termico a cappotto e la sostituzione di tutte le uscite di sicurezza. Nell’ottica di una riqualificazione generale dell’edificio si prevede anche la tinteggiatura della scala metallica esterna.

Al piano interrato il progetto prevede la sostituzione di tutti i serramenti esistenti con nuovi serramenti in alluminio a tagli termico con vetrata termoisolante con geometria uguale agli esistenti.

## 7.1 – Valutazione energetica della soluzione progettuale adottata

La simulazione finale dell'edificio effettuata con il software di Regione Lombardia CENED2+ ha considerato il modello fedele alla realtà ovvero considerando anche il piano seminterrato dell'edificio 20 e il corpo di fabbrica a Nord che alloggia i vani scale e gli ascensori.

Dall'analisi energetica condotta si riportano i risultati del fabbisogno di energia termica per il riscaldamento e il fabbisogno di energia termica per il raffrescamento estivo attraverso il seguente grafico.



Confronto tra i fabbisogni di energia termica per il riscaldamento invernale e il raffrescamento estivo

Com'è possibile constatare si passa da 818384 kWh totali a 530162 kWh totali con una riduzione superiore al 30%. Considerando tuttavia che il modello originario sul quale è stato calcolato il fabbisogno, considerava un involucro semplificato che non prevedeva l'esistenza del piano terra e del corpo scale (ovvero superfici disperdenti maggiori) è possibile affermare che il risparmio di energia primaria reale è di gran lunga superiore al 30% ricavato da questo semplice ma intuitivo confronto.

Come dichiarato nella relazione tecnica energetica Legge 10, l'edificio 20 è dotato di una sottostazione servita da uno scambiatore di teleriscaldamento e teleraffreddamento gestita da sistema di telecontrollo e monitoraggio storico dei dati. A lavoro di riqualificazione energetica ultimato sarà quindi possibile effettuare un confronto il più veritiero possibile tra due diverse stagioni di riscaldamento e due diverse stagioni di raffrescamento volto ad accertare il reale risparmio di energia, e quindi di combustibile ottenuto.

L'efficienza energetica dell'involucro potrebbe essere ulteriormente migliorata intervenendo anche sulla coibentazione della copertura e sulle coibentazioni del piano interrato, tuttavia per limiti di budget tali interventi non sono stati compresi nella soluzione di progetto.

## 8 PROGETTO – DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI PREVISTI

Nel presente capitolo della relazione vengono descritti gli interventi previsti e la relativa motivazione delle scelte per quanto non già descritto, o comunque ad integrazione, di quanto riportato nei precedenti capitoli.

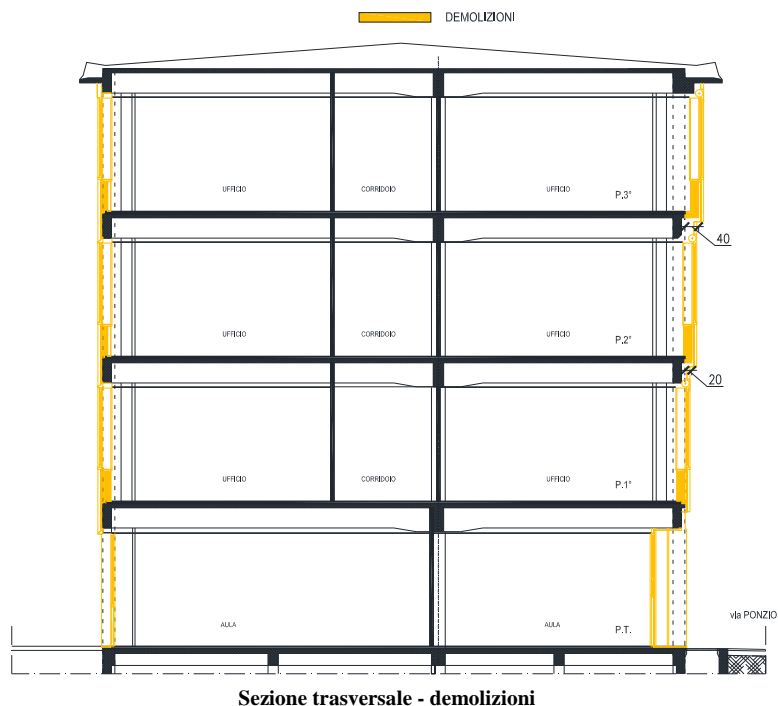
È da sottolineare che gli importi progettuali previsti per la realizzazione di tutte le opere in oggetto comprendono la campionatura e le installazioni di prova di tutti i materiali, l'esecuzione di progettazioni costruttive ove previsto, l'approvvigionamento dei materiali ed il trasporto in cantiere, compreso il nolo dei mezzi, lo scarico, il sollevamento o l'abbassamento al piano d'installazione eseguito a mano o con mezzi di sollevamento, il trasporto in piano ai luoghi d'installazione eseguito a mano o con mezzi meccanici, l'installazione, la manodopera, il noleggio delle attrezzature e macchinari di cantiere necessari all'installazione o alla lavorazione, l'esecuzione di tutte le opere provvisorie necessarie per l'installazione o la lavorazione, gli apprestamenti e i DPI necessari per l'esecuzione delle opere in sicurezza, le spese generali e gli utili d'impresa e quant'altro anche non specificato ma comunque necessario a dare le singole lavorazioni e l'intera opera complete e finite alla regola dell'arte.

### 8.1 - Demolizioni

Le demolizioni per l'intervento in oggetto sono funzionali alla preparazione della struttura esistente per la successiva realizzazione delle nuove facciate continue.

In primo luogo il progetto prevede la rimozione di tutti i serramenti esterni esistenti, previa realizzazione di ponteggio, lo smantellamento di tutti i carter metallici applicati in facciata e la rimozione dei sistemi oscuranti a lamelle inglobati nei serramenti stessi. Sul lato interno dei serramenti si procederà alla rimozione di tutte i carter metallici applicati sulle spalle e sul celino e delle relative coibentazioni in lana minerale. Ai piani primo secondo e terzo è prevista la demolizione dei sottofinestra composti da muretto in cemento armato, dall'isolamento in polistirolo e dal controtavolato interno in mattoni forati.

Per consentire la realizzazione della nuova facciata continua sul fronte sud è si rende necessaria l'eliminazione degli sporti delle solette ai piani secondo e terzo. Tali sporti corrispondono a 20 cm al piano secondo e 40 cm al piano terzo. Visto lo spessore contenuto delle solette (12 cm) si procederà al taglio della stesse con macchine a dischi diamantati, avendo cura di imbragare la parte di soletta da rimuovere per facilitare l'abbassamento al piano terreno. A piano terra si prevede la rimozione di tutte le soglie e le spalle in pietra esistenti esternamente ai serramenti da demolire.

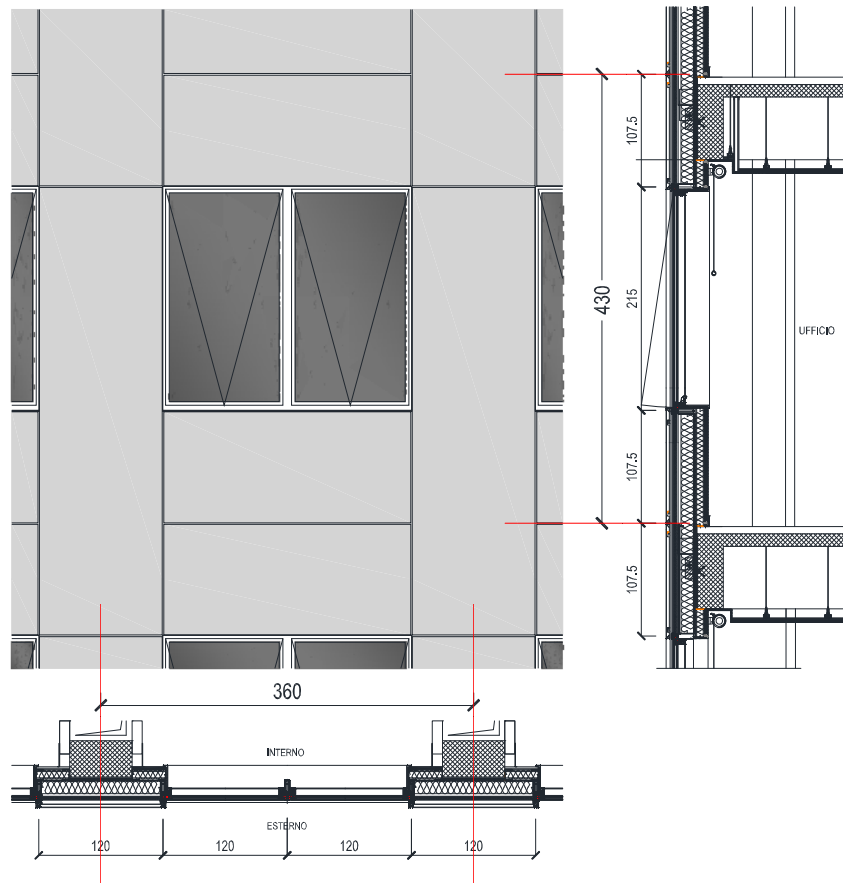


## 8.2 - Facciata continua

Come già anticipato nei paragrafi precedenti la tipologia scelta per il nuovo involucro dell'edificio è un ibrido tra facciata continua e facciata ventilata.

Alla classica tipologia di facciata continua a montanti e traversi viene aggiunto un paramento esterno costituito da pannelli compositi sagomati per essere fissati su staffe ancorate al reticolo strutturale della facciata continua.

I profilati costituenti il reticolo strutturale della facciata continua saranno in lega di alluminio. La struttura sarà del tipo a montanti e traversi con disposizione dei profilati portanti sul filo esterno della struttura dell'edificio esistente. La geometria delle facciate sud e nord è articolata sul modulo avente base uguale all'interasse tra i pilastri (360 cm) e altezza pari all'interpiano (430 cm). Le larghezze dei pannelli del rivestimento esterno sono sottomultipli della larghezza del modulo di facciata (120 cm per i pannelli che rivestono i pilastri e 240 cm per i pannelli collocati nei sottofinestra). Le altezze dei pannelli che rivestono i pilastri corrispondono all'altezza del modulo (240 cm) mentre l'altezza dei pannelli sottofinestra sono sottomultipli di tale misura (107.5 cm).

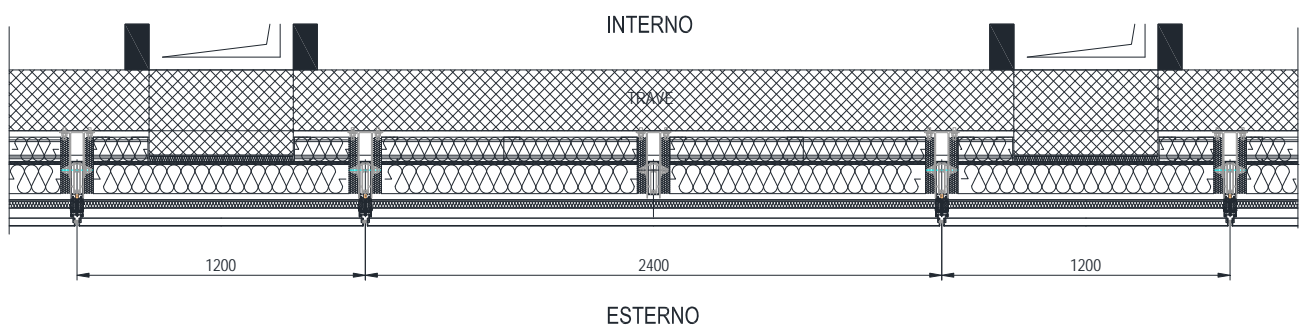


**Modulo Facciata Continua**

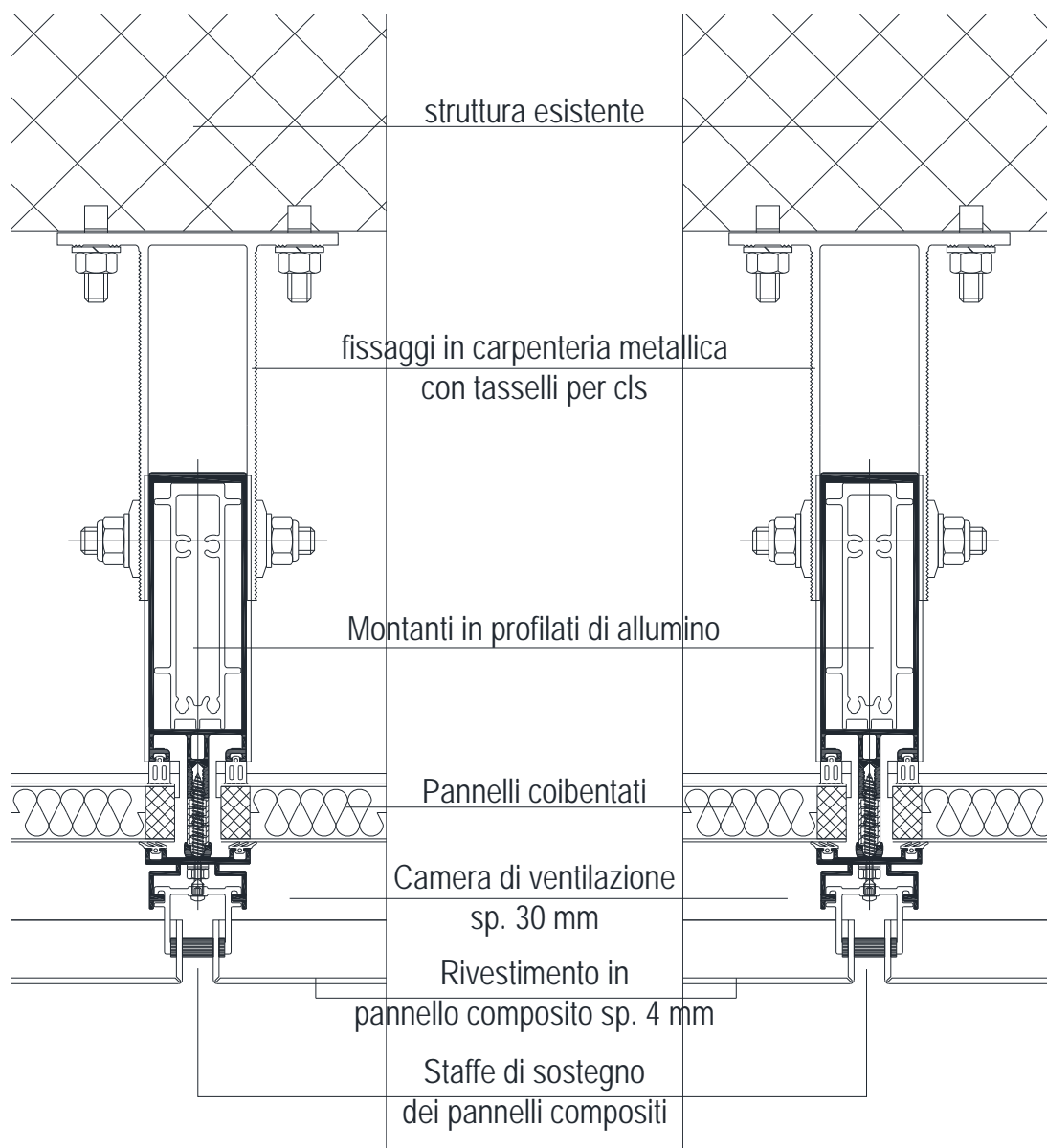
I montanti della facciata continua sono ancorati alla trave di correa intradossata della struttura esistente tramite staffe in carpenteria metallica opportunamente tassellate.

La facciata continua dovrà garantire le seguenti prestazioni:

La trasmittanza media termica (EN 13947)	: $U_w = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$
Tenuta all'Acqua Statica ( EN 12154 )	: Classe <b>RE1050</b>
Permeabilità all'Aria ( EN 12152 )	: Classe <b>4</b>
Resistenza al Vento ( EN 12179 – EN 13116 )	: Classe <b>1400/2100 Pa</b>



**Facciata Continua – Sezione Orizzontale in corrispondenza degli ancoraggi alla trave di correa**



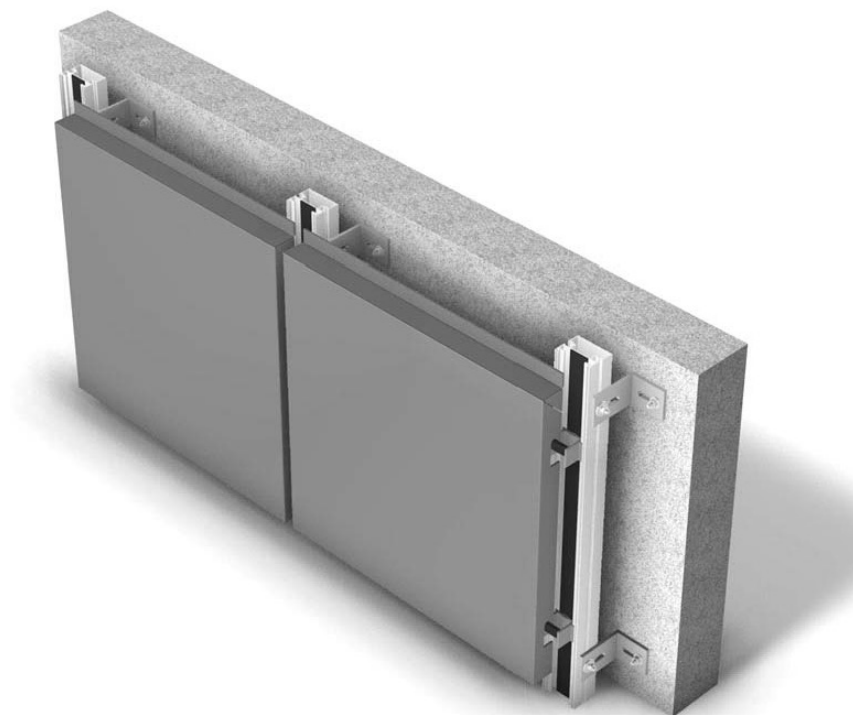
**Particolare facciata continua/ventilata – sezione orizzontale profilati**

La sezione architettonica dei profilati all'interno della facciata sarà di 50 mm. I montanti ed i traversi che costituiscono la struttura portante, saranno disponibili in varie profondità, in funzione delle necessità statiche. Tali profilati avranno una sagoma adatta ad accogliere, senza alcuna lavorazione di foratura o fresatura, gli accessori di sostegno del rivestimento esterno.

Tra la facciata continue e il paramento esterno si crea una camera d'aria di 30 mm nella quale si produce la ventilazione.

### **8.3 - Rivestimento esterno**

Il rivestimento esterno sarà costituito da pannelli compositi costituiti da due lamine di copertura in alluminio e un nucleo minerale (sp. 4mm), appositamente sagomati nelle dimensioni riportate negli elaborati grafici. Il pannello più basso sarà dotato di una griglia per favorire l'afflusso di aria nella camera di ventilazione.



**Paramento esterno in pannelli compositi – accostamento orizzontale**



**Paramento esterno in pannelli compositi – accostamento verticale**

Il sistema “facciata ventilata” dovrà proteggere l’involucro retrostante dagli spruzzi, dalle sferzate d’acqua e dai conseguenti ruscellamenti sul piano di facciata e quindi mantenere all’asciutto (grazie anche all’intercapedine d’aria ventilata) la facciata interna, portando vantaggi a quest’ultima in termini di durata e di isolamento termico.

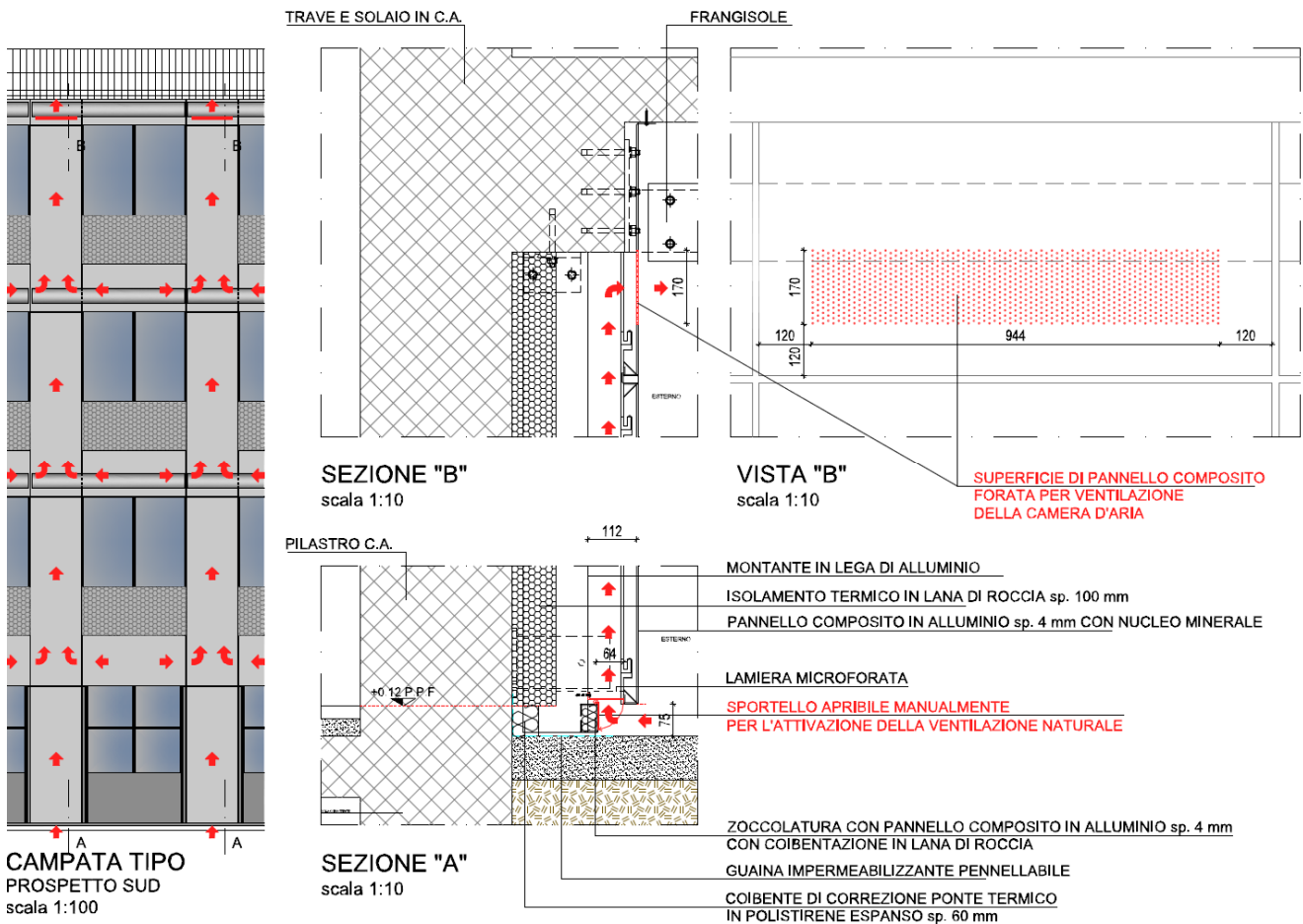
Il sistema di “facciata ventilata” dovrà consentire l’inserimento di pannelli, dal peso massimo dichiarato dal fornitore, messi in opera “a secco” tramite dispositivi di sospensione e fissaggio di tipo meccanico con la possibilità di essere allineati anche dopo la loro posa in opera. Tra i pannelli sarà previsto un distanziatore in EPDM per garantire un giunto di 8/16 mm.

La facciata dovrà essere verificata e dimensionata staticamente considerando le forze e le sollecitazioni a cui il manufatto sarà sottoposto. I profilati dovranno essere dimensionati in modo da non subire deformazioni in campo elastico superiori a 1/200 rispetto alla distanza fra i vincoli e comunque non superiore a 15 mm.



## 8.4 – Sistema di controllo della ventilazione naturale

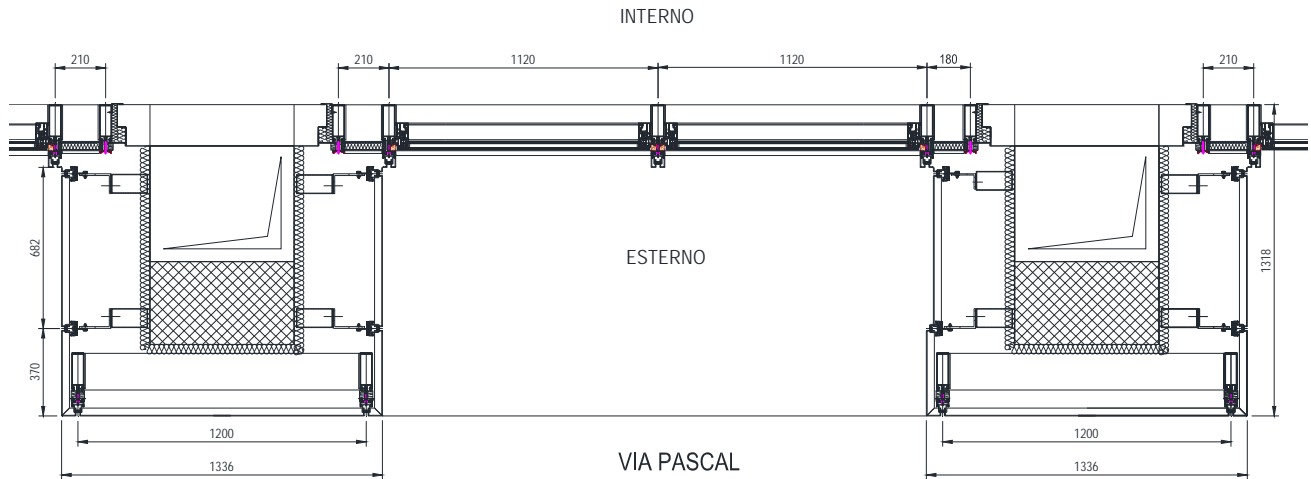
La facciata ventilata sarà dotata di un sistema di controllo della ventilazione ideato per attivare l'aerazione naturale della camera d'aria nella stagione estiva e per bloccarla nella stagione invernale. Alla base del rivestimento di facciata sarà collocato uno sportello ad apertura manuale che potrà essere aperto nella stagione estiva e chiuso nella stagione invernale, mentre nei pannelli sommitali saranno realizzate delle porzioni traforate per consentire l'espulsione dell'aria. Lo sporto di gronda esistente proteggerà i pannelli traforati da infiltrazioni di acqua piovana. Le aperture per il controllo della facciata ventilata saranno posizionate in corrispondenza dei pilastri e delle parti opache della facciata.



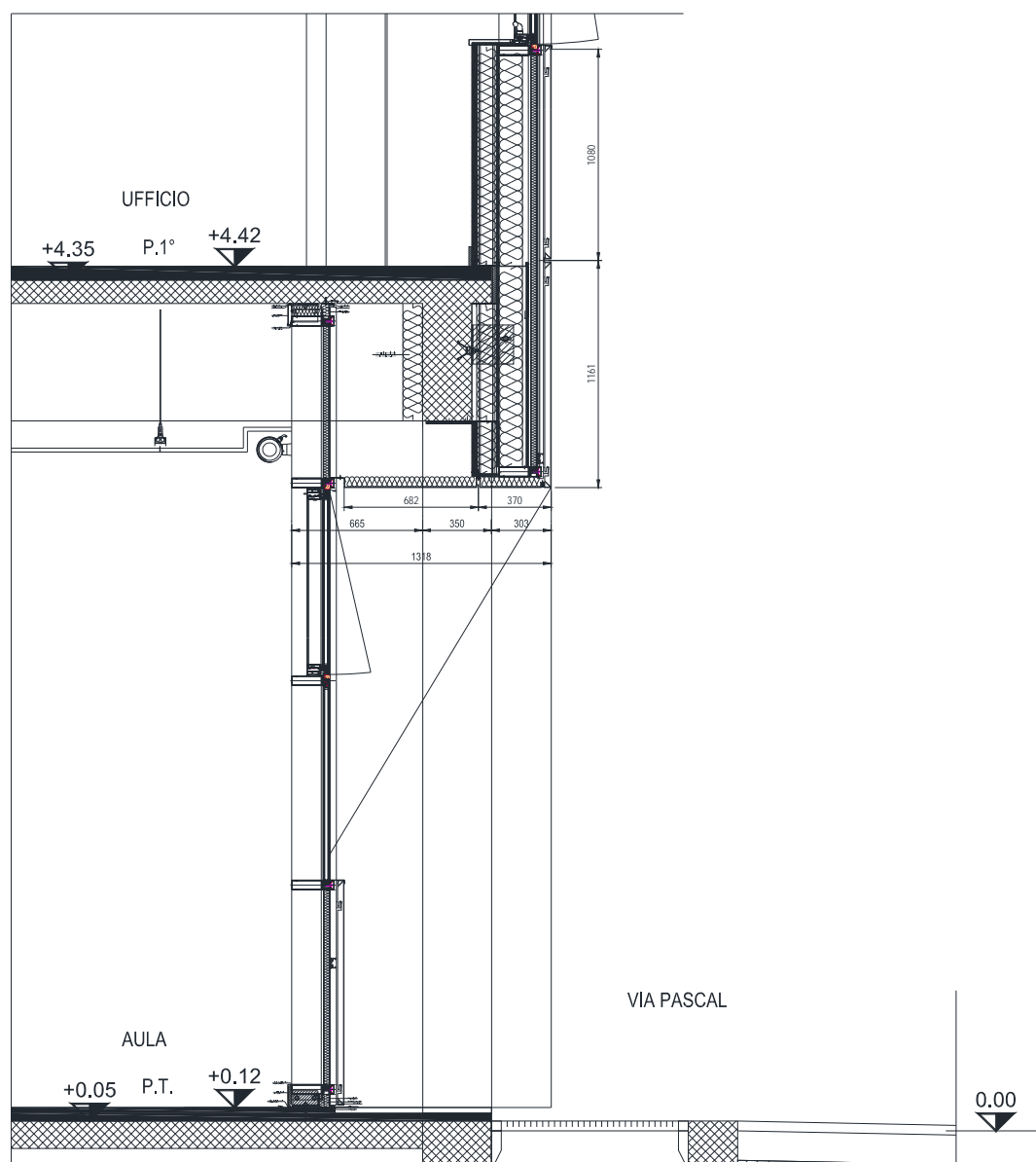
Con lo sportello aperto si produrrà l'effetto camino che consente la circolazione naturale dell'aria nello spazio dell'intercapedine. Grazie alla presenza di aperture disposte alla base e alla sommità della facciata l'aria calda uscirà da un pannello sommitale traforato e sarà rimpiazzata da aria fresca proveniente dall'apertura posta alla base producendo un moto convettivo. Il ricambio di aria all'interno dell'intercapedine favorirà l'evacuazione del vapore acqueo proveniente dall'interno dell'edificio, impedendo la formazione di condensa superficiale ed evitando danni provocati dall'umidità persistente.

## 8.5 - Piano terra e portale d'ingresso

Come già accennato in precedenza Sul fronte nord la facciata continua è allineata su uno stesso piano, mentre sul fronte sud a piano terra è parzialmente arretrata per ricreare gli sfondati esistenti.



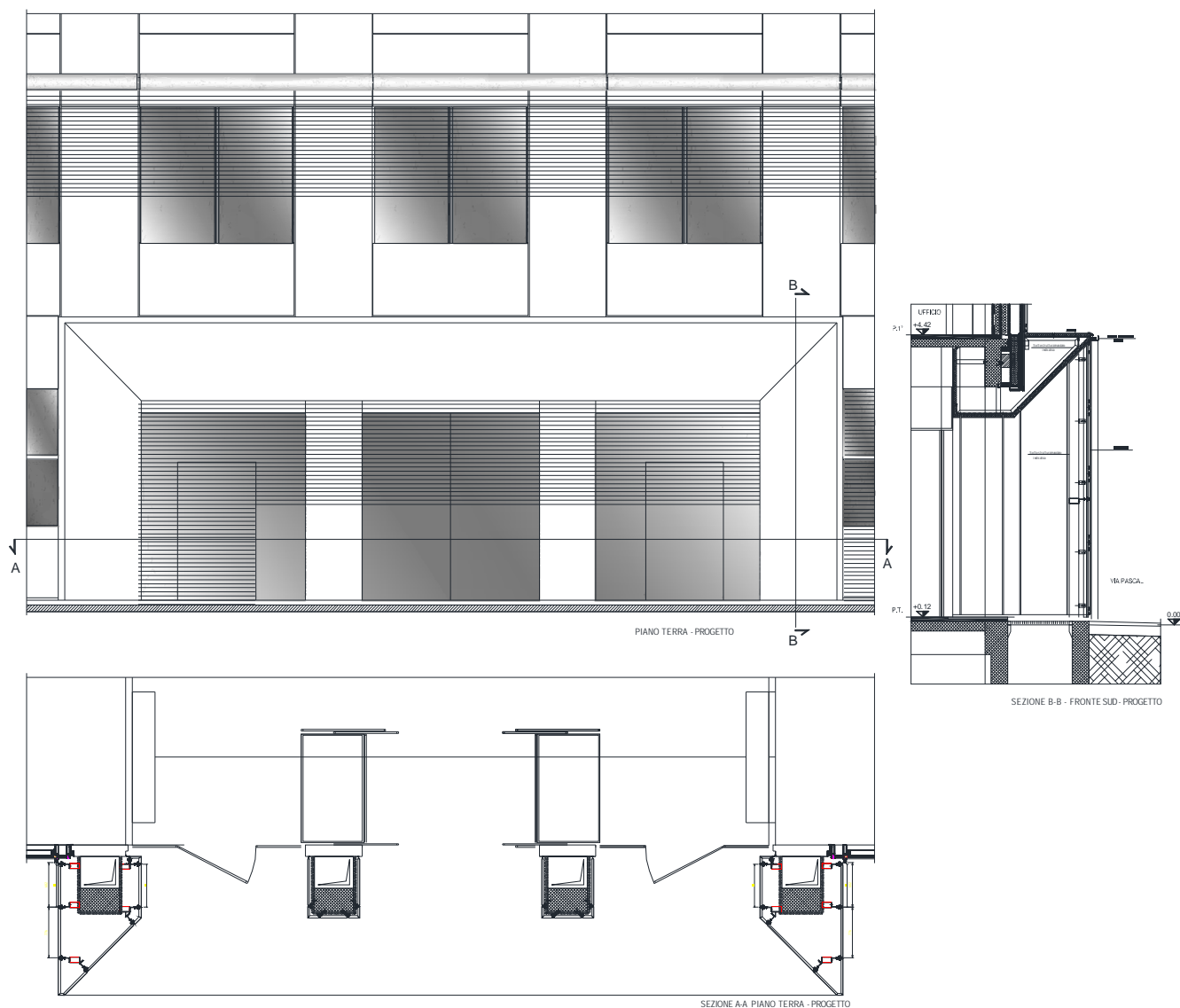
Facciata continua – piano terra fronte sud – sezione orizzontale



**Facciata continua – piano terra fronte sud – sezione verticale**

La scelta di riproporre le nicchie presenti a piano terra consente di “movimentare” l’articolazione della facciata e favorisce la schermatura delle finestre che non necessitano di frangisole per l’ombreggiamento.

Sempre sul fronte sud al piano terra in corrispondenza dell’ingresso principale dell’edificio, il progetto prevede la creazione di un portale in aggetto rastremato verso l’interno ottenuto sagomando i pannelli compositi del paramento esterno. Tale elemento architettonico oltre a evidenziare l’ingresso all’edificio rappresenta un elemento compositivo caratterizzante della facciata.



Portale d'ingresso fronte sud

## 8.6 - Corpo servizi

Per le facciate del corpo servizi, identificato nel progetto esecutivo come “prospetto interno”, si ripropone la stessa tipologia di facciata continua-ventilata utilizzata per il fronte nord. L’assetto geometrico del reticolo di facciata è diverso perché si adatta alla geometria del corpo di fabbrica esistente. Un tratto distintivo di questa porzione di involucro è rappresentato dai sottofinestra vetrati utilizzati nei corridoi di collegamento tra il corpo servizi e l’edificio principale. Le facciate in oggetto presentano anche delle porzioni interamente cieche che vengono rivestite con la facciata continua.

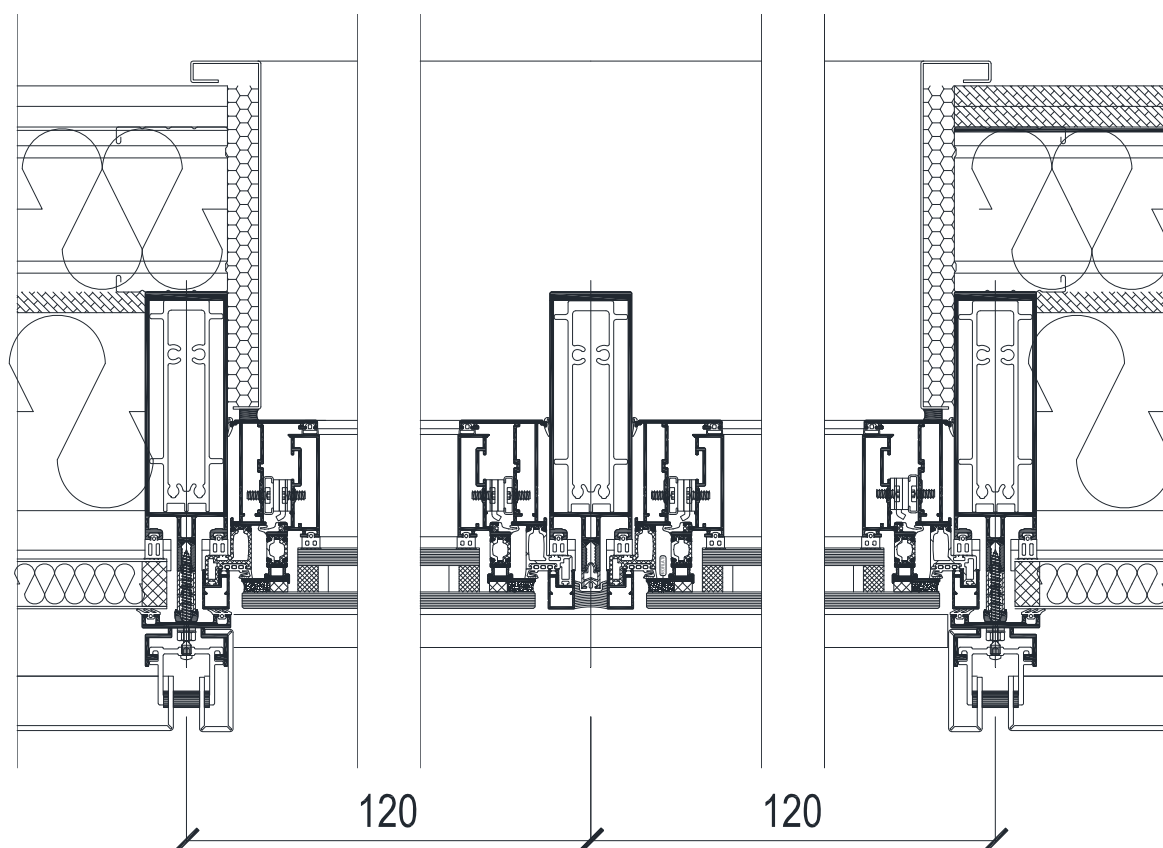


**Corpo Servizi – sviluppo prospetto interno**

Come elemento di unione anche per il corpo servizi si prevede il frangisole sommitale su tutto il perimetro dell'involucro.

## **8.7 - Parti apribili**

Nella facciata continua vengono installati serramenti apribili a sporgere costituiti da profili in alluminio a taglio termico e vetrate termoisolanti. Le parti apribili dovranno essere eseguite con idonei profilati telaio da inserire all'interno dei moduli nella tipologia di anta a sporgere strutturale, apribile con telaio anta non visibile dall'esterno.



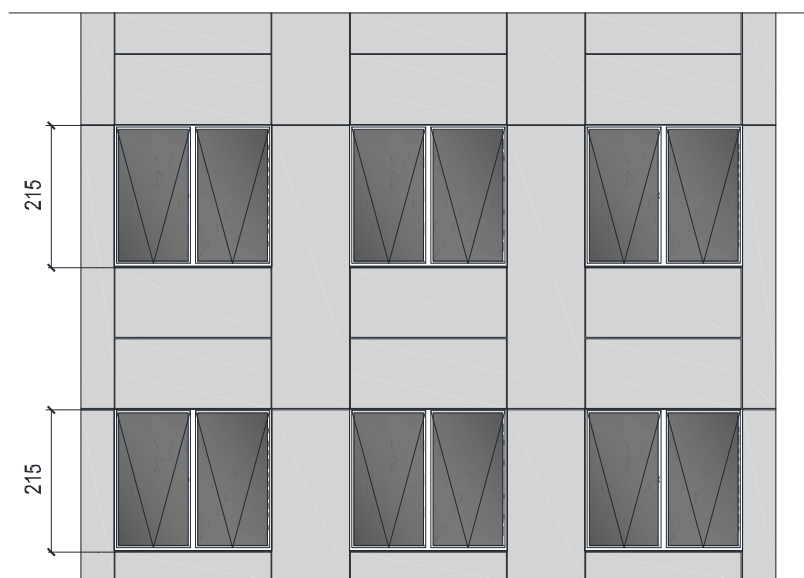
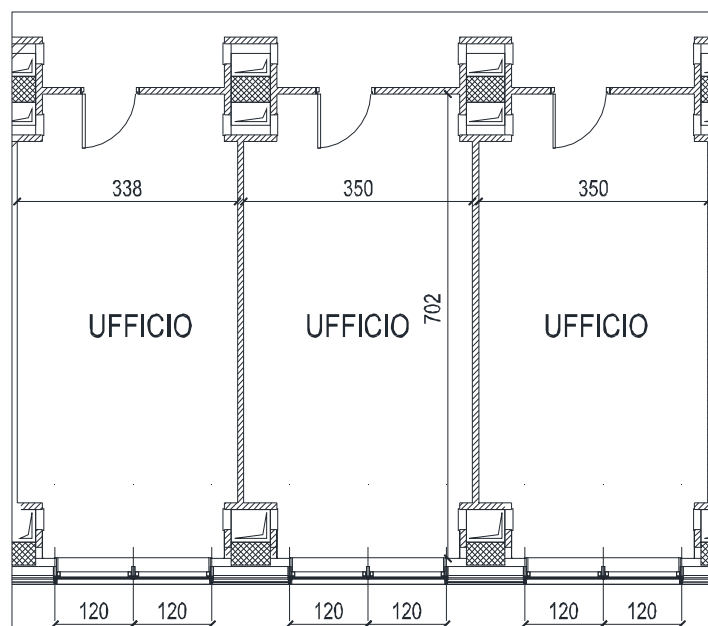
**Particolare nodi serramenti – facciata continua**

La chiusura dell'anta dovrà avvenire mediante maniglia centrale con meccanismo a più punti di bloccaggio. Inoltre si dovranno prevedere, per questo tipo di apertura, bracci in acciaio inox frizionati del tipo autobilanciante con portata di 180-300 kg (ogni anta) a seconda di quanto prescritto.

I bracci di manovra dell'anta saranno provvisti di sistema micrometrico di regolazione per consentire la perfetta registrazione a cantiere ultimato

I serramenti vengono inseriti nel reticolo di facciata in modo da garantire per ogni ufficio due specchiature apribili larghe 120+120 e alte 215 cm per garantire i rapporti aero-illuminanti prescritti dal regolamento edilizio.

A piano terra, sul fronte sud, i serramenti hanno una porzione fissa con vetri acidati ad altezza uomo per garantire la sicurezza e la privacy negli ambienti di lavoro e una parte con apertura a sporgere e vetri trasparenti in sommità, per garantire i rapporti aero-illuminanti minimi necessari.



**Facciata continua – parti apribili**

## 8.8 - Schermature solari

Sul fronte sud le specchiature trasparenti sono schermate da frangisole costituito da palette in lamiera di alluminio traforata fissate su mensole in alluminio. A piano terra il frangisole non viene utilizzato perché gli sfondati ombreggiano le specchiature trasparenti. Il frangisole del terzo piano sarà installato anche sui fronti nord e ovest e sul corpo servizi come elemento di unione e di coronamento sommitale dell'involucro.

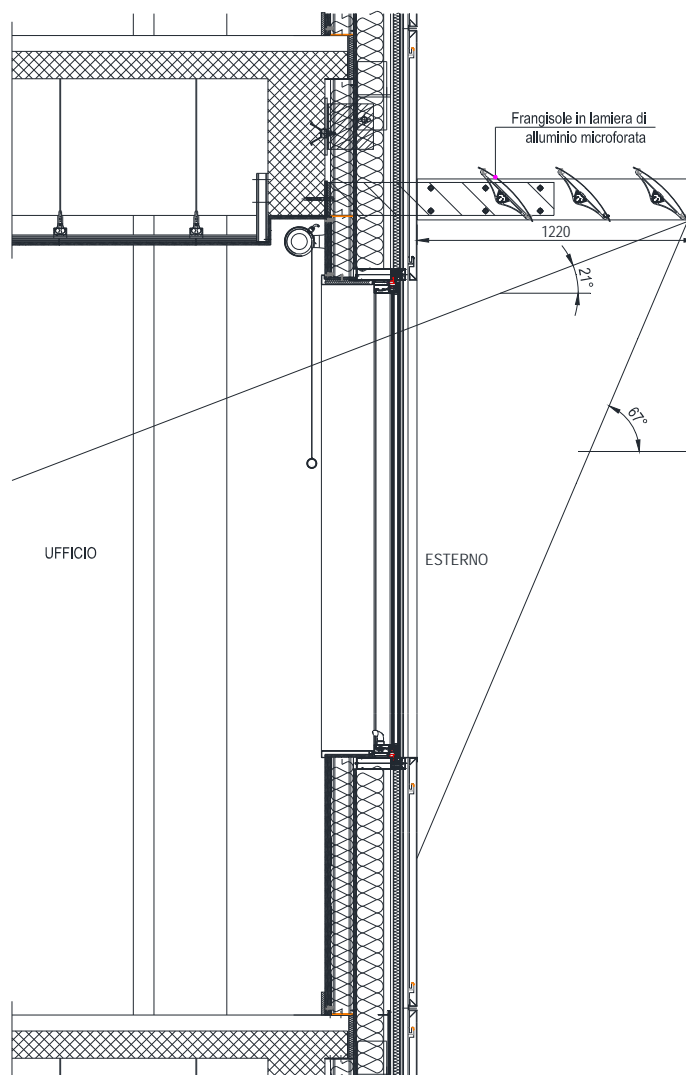
L'installazione dei frangisole sul fronte sud permette di ridurre del 70% l'irradiazione solare massima sulle superfici trasparenti durante il periodo estivo e consentono il completo utilizzo della massima irradiazione solare incidente durante il periodo invernale in osservanza alla normativa sul contenimento dei consumi energetici della regione Lombardia.

Il frangisole in oggetto è costituito da palette in lamiera di alluminio calandrata, traforata dello spessore di 15/10 con pieghi laterali che le conferiscono rigidità, avvitata ad una struttura leggera composta da un tubo centrale (Ø60 mm.) in alluminio estruso.



**Pale per frangisole in lamiera di alluminio microforata**

Tali palette sono fissate su mensole in profili di alluminio con anima in acciaio fissate alla trave intradossata esistente tramite piastre metalliche tassellate. Il passo tra le mensole è pari a quello tra i pilastri ovvero 360 cm. Il frangisole ha un aggetto di circa 120 cm rispetto al filo facciata.



**Frangisole con rappresentazione dell'ombreggiamento estivo e invernale**

Sul lato interno della facciata continua, in corrispondenza dei serramenti, saranno installate delle tende a rullo con tessuto filtrante in pvc e movimentazione manuale per correggere l'illuminazione degli ambienti negli orari più sfavorevoli e garantire la privacy.

Negli ambienti dove è prevista la proiezione di audiovisivi, come aule didattiche e sale riunioni, si prevede l'installazione di una tenda a rullo aggiuntiva con tessuto in pvc oscurante. In questi ambienti l'apertura delle tende sarà motorizzata. Tutte le tende avranno tessuto privo di formaldeide e classe 1 di reazione al fuoco o euroclasse equivalente.

## **8.9 - Vetrazioni**

Le parti trasparenti della facciata continua e i serramenti isolati a piano interrato e nel prospetto ovest saranno costituite da vetrocamera termoisolanti. Le proprietà termofisiche delle vetrazioni cambiano a seconda dell'esposizione.

Le lastre avranno la seguente composizione:

**Lastra esterna** di vetro stratificato 44.2, composto da due lastre di vetro chiaro ottenuto da procedimento di fabbricazione FLOAT con una faccia resa Bassoemissiva e selettiva e da una pellicola di polivinilbutirale ad alta attenuazione acustica (PVB), per uno sp. totale di mm 9/10, classe 1B1, antinfortuno, secondo la norma UNI EN 12600.

**Intercapedine**, equilibrata con Gas Argon 90% , realizzata con intercalare metallico, spessore mm 24, contenente Sali disidratati speciali da 3 A, sigillato con una prima barriera di butile e con una seconda di polisolfuro avente uno spessore minimo di mm 3

**Lastra interna** Lastra di vetro stratificato 66.2, composto da due lastre di vetro chiaro ottenuto da procedimento di fabbricazione FLOAT con una faccia resa Bassoemissiva e da una pellicola di polivinilbutirrale ad alta attenuazione acustica (PVB), per uno sp. totale di mm 12/13 , classe 1B1, antinfortuno, secondo la norma UNI EN 12600.

Le vetrate avranno proprietà termofisiche differenti a seconda dell'esposizione dei serramenti su cui saranno montate.

Per le specchiature direttamente esposte alla radiazione solare (prospetto sud) le vetrate dovranno garantire i seguenti parametri termofisici:

- Perdita di trasmissione sonora :  **$R_w(C;Ctr) = 50(-3;-8)$  dB**
- Dati relativi alla luminosità (EN410-2011-04)
  - **Trasmissione Luminosa (TL %) 57 %**
  - Riflessione esterna (RLe %) 28 %
  - Riflessione interna (RLi %) 27 %
- Dati relativi all'energia (EN410-2011) :
  - **Trasmissione (Te) 28 %**
  - Riflessione (Ree) 35 %
  - Interna (Rei) 35 %
  - **Fattore Solare: 0,27**
- Trasmittanza termica (EN673-2011)
  - **$U_g : 1,0 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$**

Per le vetrazioni non direttamente esposte alla radiazione solare (prospetto nord, ovest, corpo servizi, interrato) le vetrate dovranno garantire i seguenti parametri termofisici:

- Perdita di trasmissione sonora :  **$R_w(C;Ctr) = 50(-3;-8)$  dB**
- Dati relativi alla luminosità (EN410-2011-04)
  - **Trasmissione Luminosa (TL %) 63 %**
  - Riflessione esterna (RLe %) 26 %
  - Riflessione interna (RLi %) 23 %
- Dati relativi all'energia (EN410-2011) :
  - **Trasmissione (Te) 35 %**
  - Riflessione (Ree) 32 %
  - Interna (Rei) 32 %
  - **Fattore Solare: 0,39**
- Trasmittanza termica (EN673-2011)
  - **$U_g : 1,0 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$**

Sui serramenti fissi previsti al piano terra sul fronte sud e sui serramenti dei bagni nel corpo servizi sono previste vetrate con finitura acidata per garantire la privacy di tali ambienti.

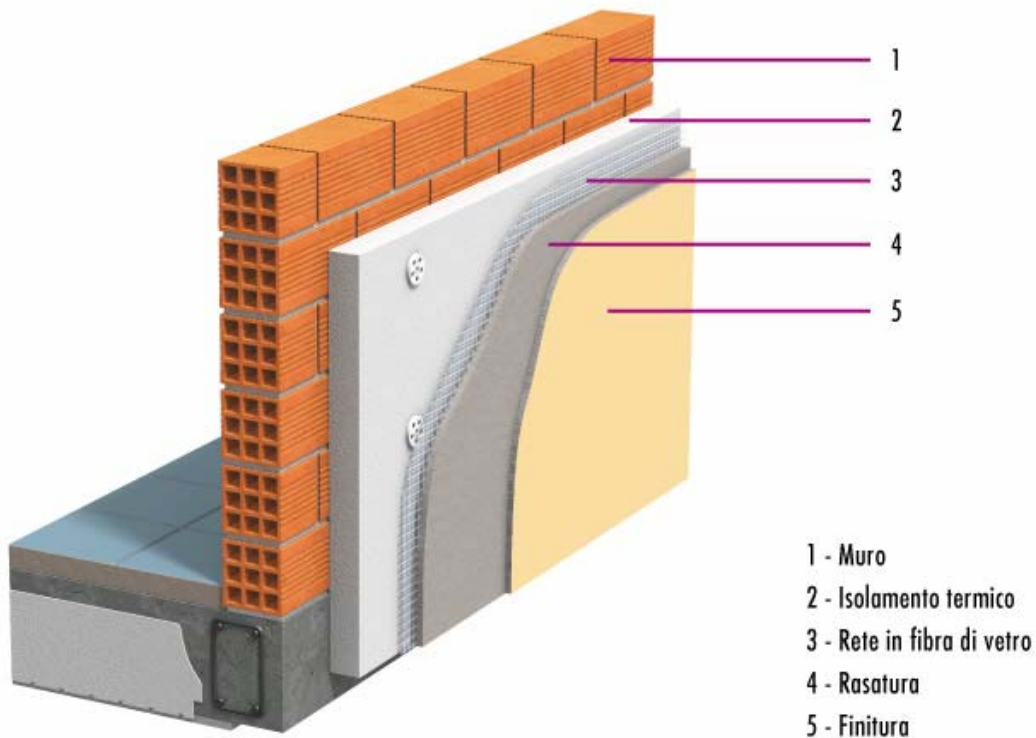
## **8.10 - Prospetto ovest e isolamento termico a cappotto**

Per la facciata ovest si conferma l'isolamento termico a cappotto previsto nel progetto preliminare. La coibentazione dovrà migliorare l'isolamento della parete per garantire un valore di trasmittanza inferiore a  $0,26 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  che è il valore limite prescritto dalla normativa sul contenimento dei consumi energetici della regione lombardia. L'isolamento termico a cappotto sarà utilizzato anche per la parte di facciata nord a piano seminterrato dove sono previsti i serramenti isolati (campate B, C, D, E).

L'isolamento termico a cappotto sarà costituito da pannelli in lana di roccia di spessore pari a 120 mm, conformi alla norma UNI EN con marcatura CE, con le seguenti caratteristiche:

- Reazione al fuoco Euroclasse A1

- Conduttività termica = 0.040 W/m K secondo UNI 7819/7745
- Densità  $\geq 100$  Kg/mc
- certificazione secondo ETAG 004



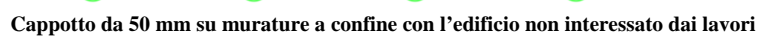
**Stratigrafia Isolamento termico a cappotto**

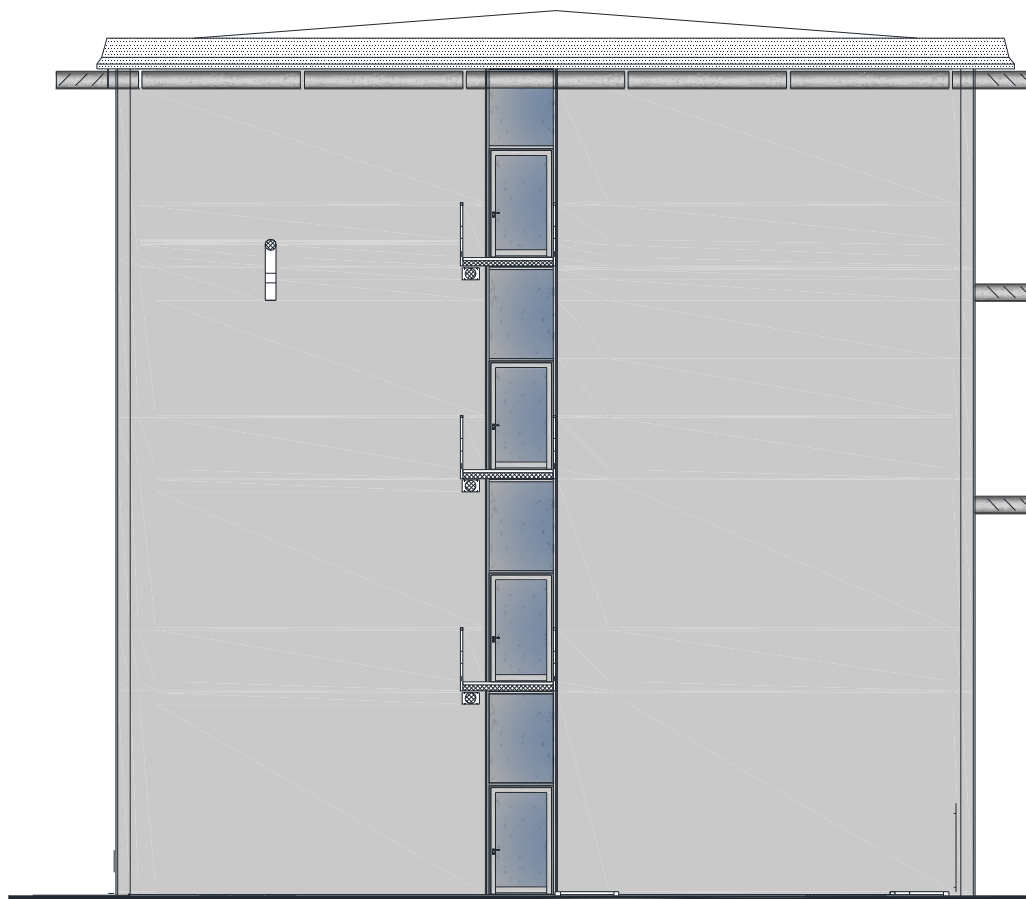
Le lastre in lana di roccia saranno posate mediante pasta adesiva premiscelata a base di cemento e dispersioni sintetiche privo di solventi, e bloccate con tasselli espandibili. L'applicazione avviene per corsi orizzontali a giunti sfalsati avendo cura di ottenere una perfetta adesione al supporto. Sulle lastre isolanti si applica una rasatura costituita da uno strato monolitico di malta adesiva, premiscelata, armato con rete in fibra di vetro. Tale rete dovrà essere annegata fra le due passate di rasante a base cementizia.

La finitura superficiale è costituita da un rivestimento minerale colorato con pasta a base di silicati di potassio, grana media, colore a scelta della D.L., applicato a spatola e rifinito a frattazzo.

Per il rivestimento a cappotto è richiesto il rilascio dell' European Technical Approval (ETA) come istituito dalla Guida ETAG 004 per i produttori di External Thermal Insulation Composite System (ETICS) che supera i preesistenti sistemi di valutazione di tipo volontario.

E' previsto un isolamento termico a cappotto con le stesse medesime caratteristiche, ma con spessore dei pannelli di 50 mm, sulle pareti cieche poste al confine con l'edificio adiacente non interessato dall'intervento.



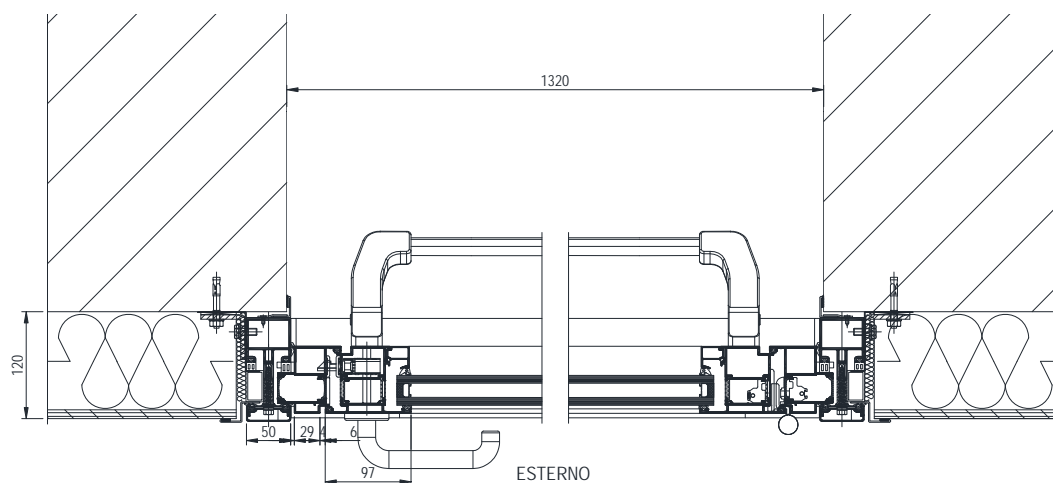


**Prospetto ovest - progetto**

Sul prospetto ovest è prevista la sostituzione di tutti i serramenti adibiti ad uscita di sicurezza con nuovi serramenti vetrati costituiti da profili estrusi in lega di alluminio, sp. 75 mm, a taglio termico, dotati di maniglione antipanico, con sopraluce opaco vetrato. I serramenti avranno le seguenti prestazioni di tenuta:

Tenuta all'Acqua ( EN 1027 – EN 12208 )	: Classe <b>2A</b>
Permeabilità all'Aria ( EN 1026 – EN 12207 )	: Classe <b>2</b>
Resistenza al Vento ( EN 12211 – EN 12210 )	: Classe <b>C1</b>

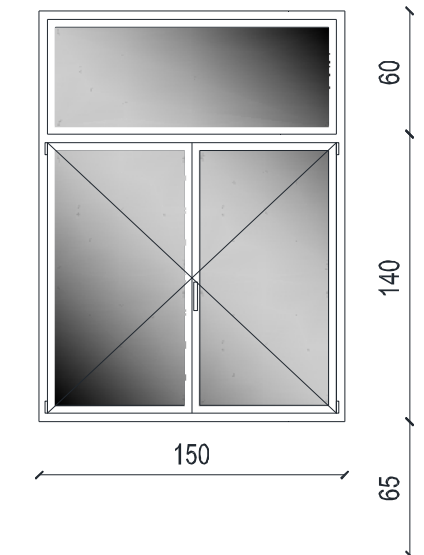
La trasmittanza termica media del serramento (vetro + telaio) dovrà essere inferiore al valore limite di  $U = 1,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$



**Uscita di sicurezza - Prospetto ovest**

## 8.11 - Serramenti a piano interrato

A piano interrato è prevista la sostituzione di tutti i serramenti esterni con nuovi serramenti costituiti da profilati in lega di alluminio EN AW 6060 a taglio termico, realizzati con listelli isolanti in poliammide rinforzati con fibra di vetro. La tipologia ricorrente è la finestra a due ante con sopraelevato. La chiusura dell'anta principale sarà effettuata mediante maniglia a cremonese a più punti di chiusura, tramite un'asta con terminali a forcilla. L'anta passiva (secondaria) potrà essere bloccata mediante doppio catenaccio (superiore ed inferiore) oppure mediante monocomando (chiusura superiore ed inferiore).

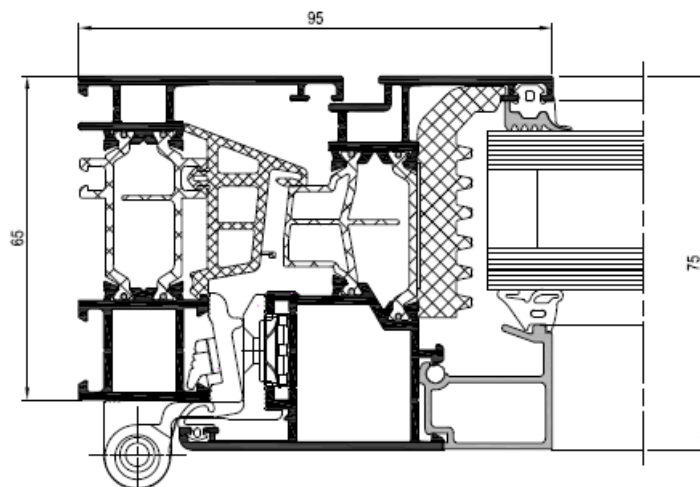


Serramento - piano interrato

I sistemi di movimentazione e chiusura dovranno essere idonei a sopportare il peso delle parti apribili e a garantire il corretto funzionamento secondo la normativa UNI 7525 (peso del vetro, spinta del vento, manovra di utenza).

I serramenti avranno le seguenti prestazioni di tenuta:

Tenuta all'Acqua ( EN 1027 – EN 12208 )	: Classe <b>2A</b>
Permeabilità all'Aria ( EN 1026 – EN 12207 )	: Classe <b>2</b>
Resistenza al Vento ( EN 12211 – EN 12210 )	: Classe <b>C1</b>



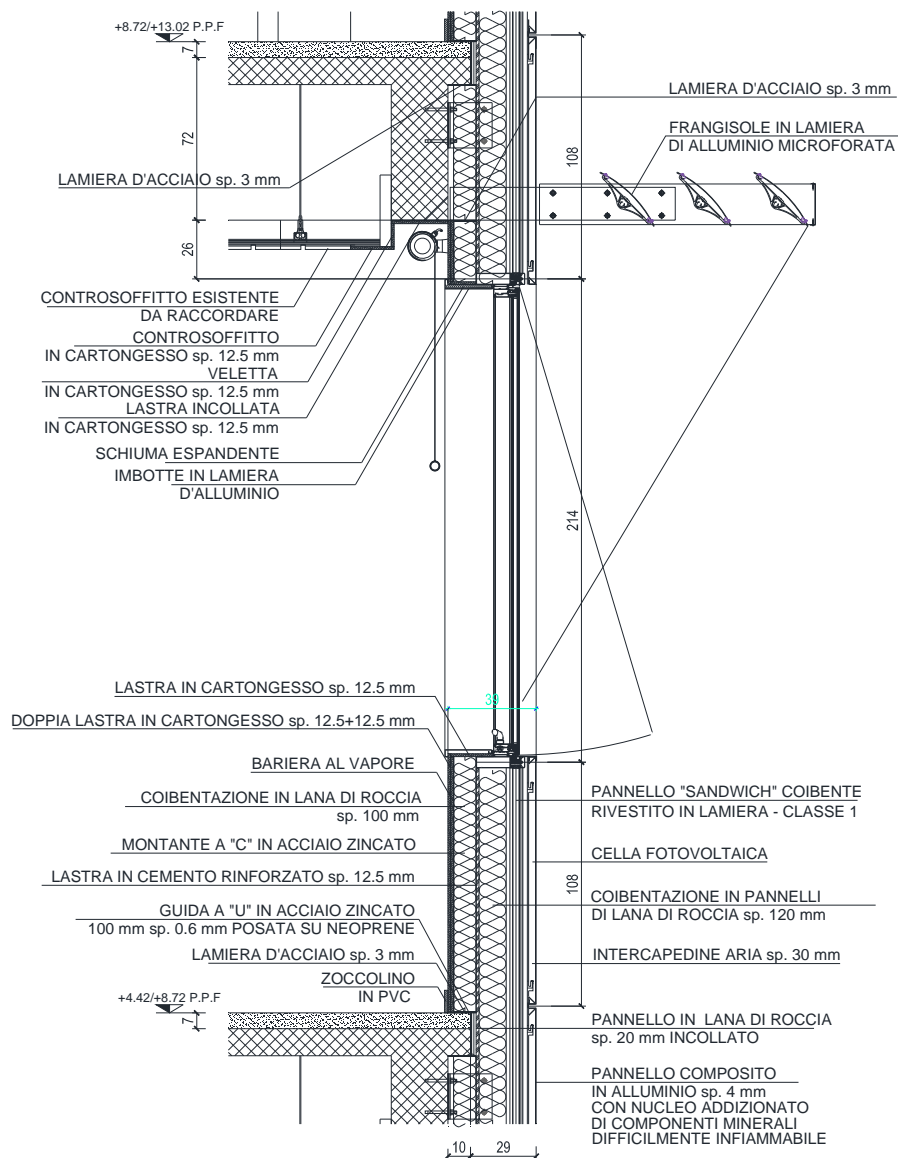
Particolare Nodo serramenti piano interrato

La trasmittanza termica media del serramento (vetro + telaio) dovrà essere inferiore al valore limite di  $U = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

## 8.12 - Coibentazioni e completamenti dell'involucro

Ad integrazione della alla facciata continua il progetto prevede i seguenti elementi di completamento dell'involucro:

- Lastra di cemento rinforzato, sp. 12.5 mm, fissata sul filo esterno della struttura dell'edificio.
- Coibentazione esterna tra la lastra di cemento e la facciata continua in pannelli in lana di roccia, sp. 120 mm
- Controparete interna in doppia lastra di cartongesso sostenuta da struttura in profili a "C" di acciaio zincato
- Coibentazione interna alla controparete in pannelli in lana di roccia, sp. 100 mm
- Barriera al vapore in fogli di polietilene tra le due lastre di cartongesso.
- Correzione dei ponti termici su pilastri e travi con pannelli in lana di roccia incollati, sp. 20 mm
- Controsoffitto e veletta in cartongesso per raccordo con il controsoffitto esistente
- Davanzali e imbotti interni ed esterni al serramento in lamiera di alluminio
- Zoccolino interno in PVC



Sezione Verticale Involucro

### **8.13 - Tinteggiature e finiture esterne**

Il progetto prevede la tinteggiatura con idropittura, previa preparazione delle superfici con fissativo, di tutti i locali interessati dalle opere. Sono comprese le assistenze per lo spostamento e l'eventuale smontaggio dei mobili ed il riposizionamento, ed eventuale rimontaggio, a fine lavoro. In particolar modo a piano terra prima della realizzazione del nuovo involucro dovranno essere smontati gli elementi di arredo fisso nei sottofinestra, costituiti da pannelli in MDF con ante, ripiani e cassetti. Terminata la realizzazione del nuovo involucro dovranno essere ripristinati i suddetti arredi fissi con i dovuti adattamenti eseguiti da personale specializzato ( falegname) e dovranno essere ricollegate le prese di forza motrice, dati e fonia presenti sui pannelli come erano prima dell'intervento.



**Arredo Fisso sottofinestra**

E' prevista anche la tinteggiatura delle pareti esterne interessate dalla realizzazione dell'isolamento termico a cappotto e la tinteggiatura con smalto della scala metallica e della recinzione esterna, previa preparazione della superficie tramite carteggiatura e mano di antiruggine.

A piano terra esternamente alla facciata sud si prevede il rifacimento delle pavimentazioni comprese nelle nicchie di facciata. Per tali pavimentazioni sono previste piastrelle di grandi dimensioni in gres fine porcellanato.

## **9 IMPIANTI ELETTRICI**

### **9.1 - Oggetto dei lavori**

La presente relazione tecnica, riferita al progetto esecutivo, pone gli indirizzi per l'esecuzione degli impianti elettrici e speciali conseguenti alla realizzazione dei lavori elettrici conseguenti al rifacimento delle facciate dell'Edificio 20 del Campus Leonardo del Politecnico di Milano.

Tali opere possono essere così schematizzate:

- a) Sostituzione dei proiettori posizionati sulle facciate nord e sud dell'edificio e relativo nuovo impianto elettrico di alimentazione;
- b) Realizzazione dell'impianto fotovoltaico completo con il cablaggio dei pannelli fotovoltaici integrati nei vetri di facciata.

### **9.2 - Rispondenza disposizioni di legge e di norma**

Il presente progetto preliminare, nonché le fasi successive di progettazione ed esecuzione, saranno realizzate nel rispetto dei seguenti riferimenti di legge e normativi.

Regolamento Prodotti da Costruzione UE 305/2011.

“Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante «Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE».” d.p.r. 5 ottobre 2010, n. 207.

“Attuazione dell'articolo 1 della legge n. 123 del 2007, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro”, d.lgs. 9 aprile 2008, n. 81.

“Regolamento recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici” Decreto 22 gennaio 2008, n. 37.

“Misure in tema di tutela della salute e della sicurezza sul lavoro e delega al Governo per il riassetto e la riforma della normativa in materia”, legge 3 agosto 2007, n. 123 e s.m.i.

“Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE”, d.lgs. 12 aprile 2006, n. 163, e successive modificazioni e integrazioni.

“Regolamento recante disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione incendi, a norma dell'articolo 20, comma 8, della legge 15 marzo 1997, n. 59” d.p.r. 12 gennaio 1998, n. 37, e s.m.i.

“Regolamento recante norme per l'eliminazione delle barriere architettoniche negli edifici, spazi e servizi pubblici”, d.p.r. 24 luglio 1996 n. 503.

“Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la costruzione e l'esercizio delle attività ricettive turistico – alberghiere”, d.m. 9 aprile 1994 e s. i. m.

“Norme di prevenzione incendi per l'edilizia scolastica”, d.m. 26/08/1992

D.M. LL.PP. 14 Giugno 1989 n. 236 - Prescrizioni tecniche necessarie a garantire l'accessibilità, l'adattabilità e la visibilità degli edifici privati e di edilizia residenziale pubblica sovvenzionata e agevolata, ai fini del superamento e dell'eliminazione delle barriere architettoniche.

“Direttive sulle misure più urgenti ed essenziali di prevenzione incendi ai fini del rilascio del nullaosta provvisorio di cui alla legge 7 dicembre 1984, n. 818.”, d.m. 08/03/1985.

“Disposizioni concernenti la produzione di materiali, apparecchiature, macchinari, installazioni e impianti elettrici ed elettronici” Legge 1 marzo 1968, n. 186.

CEI 0-2 - Guida per la definizione della documentazione di progetto degli impianti elettrici.

CEI 0-16 - Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica.

CEI 0-21 Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti BT delle imprese distributrici di energia elettrica.

CEI 11-17 – Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica. Linee in cavo.

CEI 11-20 - Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti di I e II categoria.

CEI 11-25 - Correnti di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata. Parte 0: Calcolo delle correnti.

CEI 11-35 – Guida per l'esecuzione di cabine elettriche MT/bt del cliente/utente finale.

CEI 11-37 - Guida per l'esecuzione degli impianti di terra nei sistemi utilizzatori di energia alimentati a tensione maggiore di 1 kV.

CEI 20-40 Guida per l'uso di cavi armonizzati a bassa tensione.

CEI 20-67 Guida per l'uso dei cavi 0,6/1 kV.

CEI 64-8 Parte 1, Parte 2, Parte 3, Parte 4, Parte 5, Parte 6, Parte 7 - Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1 000 V in corrente alternata e a 1 500 V in corrente continua.

CEI 61-11 - Impianti elettrici nei mobili.

CEI 64-12 - Guida per l'esecuzione dell'impianto di terra negli edifici per uso residenziale e terziario.

CEI 64-19 Guida agli impianti di illuminazione esterna.

CEI 64-50 - Edilizia ad uso residenziale e terziario. Guida per l'integrazione degli impianti elettrici utilizzatori e per la predisposizione di impianti ausiliari, telefonici e di trasmissione dati negli edifici. Criteri generali.

CEI 64-52 - Guida per l'integrazione degli impianti elettrici utilizzatori e per la predisposizione di impianti ausiliari, telefonici e di trasmissione dati negli edifici. Criteri particolari per edifici scolastici.

CEI 82-25 - Guida alla realizzazione di sistemi di generazione fotovoltaica collegati alle reti elettriche di Media e Bassa Tensione.

CEI UNEL 35016 - Classe di Reazione al fuoco dei cavi in relazione al Regolamento EU "Prodotti da Costruzione" (305/2011).

CEI EN 60931-1 – Condensatori statici di rifasamento di tipo non autorigenerabile per impianti di energia a corrente alternata con tensione nominale inferiore o uguale a 1000V. Parte 1: Generalità - Prestazioni, prove e valori nominali - Prescrizioni di sicurezza. Guida per l'installazione e l'esercizio.

CEI EN 60831-1 - Condensatori statici di rifasamento di tipo autorigenerabile per impianti di energia a corrente alternata con tensione nominale inferiore o uguale a 1 kV Parte 1: Generalità - Prestazioni, prove e valori nominali - Prescrizioni di sicurezza - Guida per l'installazione e l'esercizio.

CEI EN 61642 - Reti industriali in corrente alternata affette da armoniche - Applicazione di filtri e di condensatori statici di rifasamento.

CEI EN 61921 - Condensatori di potenza - Batterie di rifasamento a bassa tensione.

CEI EN 61439-1 - Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT). Parte 1: Regole generali.

CEI EN 61936-1 - Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in c.a. Parte 1: Prescrizioni comuni.

CEI EN 50522 - Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV in c.a.

CEI EN 62305 (CEI 81-10) Parte 1, Parte 2, Parte 3, Parte 4 - Protezione contro i fulmini.

CEI 103-1 - Impianti telefonici interni.

CEI EN 60617/IEC 617 - Segni grafici per schemi.

CEI EN 61300/IEC 1300 - Dispositivi di interconnessione e componenti passivi per fibre ottiche.

CEI EN 61269/IEC 1269 - Componenti per la terminazione di fibre ottiche.

UNI CEN/TS 54-14 - Sistemi di rivelazione e di segnalazione d'incendio. Parte 14: Linee guida per la pianificazione, la progettazione, l'installazione, la messa in servizio, l'esercizio e la manutenzione.

UNI EN 1838 Applicazione dell'illuminotecnica — Illuminazione di emergenza.

UNI EN 54 - Sistemi di rivelazione e di segnalazione d'incendio.

UNI 9795 - Sistemi fissi automatici di rivelazione e di segnalazione allarme d'incendio. Progettazione, installazione ed esercizio.

UNI ISO 7240-19 - Sistemi fissi di rivelazione e di segnalazione allarme d'incendio. Parte 19: Progettazione, installazione, messa in servizio, manutenzione ed esercizio dei sistemi di allarme vocale per scopi d'emergenza.

UNI EN 12464-1 - Illuminazione dei Luoghi di Lavoro.

### **9.3 - Destinazioni d'uso dei locali**

Le destinazioni d'uso finali dei locali interessati dell'intervento saranno le seguenti:

- ufficio;
- aree di circolazione (corridoio, scale, ecc.);
- locale tecnico.

## 9.3 - Criteri generali di progettazione.

### 9.4.1 Protezione dai contatti diretti e indiretti

Nella progettazione e realizzazione degli impianti, le due diverse tipologie di contatti potenzialmente dannosi sono così definite:

- contatto diretto: contatto di persone con parti attive del circuito;
- contatto indiretto: contatto di persone con una massa in tensione per un guasto.

#### 9.4.1.1 Protezione dai contatti diretti

##### **Protezione mediante isolamento delle parti attive.**

Le parti attive devono essere completamente ricoperte con un isolamento che possa essere rimosso solo mediante distruzione.

L'isolamento dei componenti elettrici costruiti in fabbrica deve soddisfare le relative norme.

Per gli altri componenti elettrici la protezione deve essere assicurata da un isolamento tale da resistere alle influenze meccaniche, chimiche, elettriche e termiche alle quali può essere soggetto nell'esercizio. Vernici, lacche, smalti e prodotti simili non sono in genere considerati idonei per assicurare un adeguato isolamento per la protezione contro i contatti diretti.

#### 9.4.1.2 Protezione dai contatti indiretti

##### **Protezione mediante l'interruzione automatica dell'alimentazione.**

L'interruzione automatica dell'alimentazione è richiesta quando si possono avere effetti fisiologici dannosi in una persona, in caso di guasto, a causa del valore e della durata della tensione di contatto.

Questa misura di protezione richiede il coordinamento tra il modo di collegamento a terra del sistema e le caratteristiche dei conduttori di protezione e dei dispositivi di protezione.

Un dispositivo di protezione deve interrompere automaticamente l'alimentazione al circuito od al componente elettrico, che lo stesso dispositivo protegge contro i contatti indiretti, in modo che, in caso di guasto, nel circuito o nel componente elettrico, tra una parte attiva ed una massa o un conduttore di protezione, non possa persistere, per una durata sufficiente a causare un rischio di effetti fisiologici dannosi in una persona in contatto con parti simultaneamente accessibili, una tensione di contatto presunta superiore alla tensione di contatto limite convenzionale (50V in c.a. e 120V in c.c. non ondulata).

##### **Protezione dai contatti indiretti nei sistemi TN.**

Tutte le masse dell'impianto devono essere collegate al punto di messa a terra del sistema di alimentazione con conduttori di protezione che devono essere messi a terra in corrispondenza od in prossimità di ogni trasformatore o generatore di alimentazione.

Il punto di messa a terra del sistema di alimentazione è generalmente il punto neutro.

Il punto di neutro o, se questo non esiste, un conduttore di fase, di ogni trasformatore o di ogni generatore, deve essere collegato a terra.

Per la sicurezza, deve essere soddisfatta la seguente condizione:

$$Z_s * I_a \leq U_0$$

dove:

$Z_s$  è l'impedenza dell'anello di guasto che comprende la sorgente, il conduttore attivo fino al punto di guasto ed il conduttore di protezione tra il punto di guasto e la sorgente;

$I_a$  è la corrente che provoca l'interruzione automatica del dispositivo di protezione in Ampere entro il tempo definito nella tabella 41A in funzione della tensione nominale  $U_0$ .

Quando il dispositivo di protezione è un dispositivo di protezione a corrente differenziale  $I_a$  è la corrente nominale differenziale  $I_{dn}$ .

$U_0$ (V)	Tempo di interruzione (s)
120	0.8

230	0.4
400	0.2
>400	0.1

### 9.4.2 - Protezione delle condutture contro le sovracorrenti (sovraccarichi e cortocircuiti)

I dispositivi che assicurano la protezione sia contro i sovraccarichi sia contro i cortocircuiti devono essere in grado di interrompere qualsiasi sovracorrente, sino alla corrente di cortocircuito presunta nel punto in cui i dispositivi sono installati.

Tali dispositivi possono essere:

- interruttori automatici provvisti di sganciatori di sovracorrente;
- interruttori combinati con fusibili;
- fusibili.

I dispositivi che assicurano la protezione contro i sovraccarichi hanno generalmente una caratteristica di funzionamento a tempo inverso ed il loro potere di interruzione può essere inferiore alla corrente di cortocircuito presunta nel punto in cui essi sono installati.

I dispositivi che assicurano la protezione dal cortocircuito devono essere utilizzati quando la protezione contro il sovraccarico sia ottenuta con altri mezzi o quando, in accordo con la norma CEI 64-8, la protezione contro i sovraccarichi possa o debba venire omessa. Essi devono essere in grado di interrompere ogni corrente di cortocircuito inferiore o uguale alla corrente di cortocircuito presunta.

Tali dispositivi possono essere:

- interruttori automatici con sganciatori di sovracorrente;
- fusibili di tipo gG od aM.

Le caratteristiche di funzionamento di un dispositivo di protezione delle condutture contro i sovraccarichi deve rispondere alle seguenti condizioni:

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$I_f \leq 1,45 \cdot I_z$$

dove:

$I_b$ : corrente di impiego del circuito;

$I_z$ : portata in regime permanente della conduttura;

$I_n$ : corrente nominale del dispositivo di protezione;

$I_f$ : corrente che assicura l'effettivo funzionamento del dispositivo di protezione entro il tempo convenzionale in condizioni definite.

La norma CEI 64-8 impone l'impiego di dispositivi di protezione dalle correnti di cortocircuito. Tali dispositivi devono interrompere le correnti di corto circuito prima che possano diventare pericolose a causa degli effetti termici e meccanici prodotti nei conduttori e nelle connessioni.

Le correnti di cortocircuito presunte devono essere determinate con riferimento ad ogni punto significativo dell'impianto. Questa determinazione può essere effettuata sia con calcoli, sia con misure.

Ogni dispositivo di protezione contro i cortocircuiti deve rispondere alle condizioni di seguito esplicitate.

Il potere di interruzione non deve essere inferiore alla corrente di cortocircuito presunta nel punto di installazione. E' tuttavia ammesso l'utilizzo di un dispositivo di protezione con potere di interruzione inferiore se a monte è installato un altro dispositivo avente il necessario potere di interruzione. In questo caso le caratteristiche dei due dispositivi devono essere coordinate in modo che l'energia che essi lasciano passare non superi quella che può essere sopportata senza danno dal dispositivo situato a valle e dalle condutture protette da questi dispositivi.

Tutte le correnti provocate da un cortocircuito che si presenti in un punto qualsiasi del circuito devono essere interrotte in un tempo non superiore a quello che porta i conduttori alla temperatura limite ammissibile.

Per i cortocircuiti di durata non superiore a 5 s, il tempo  $t$  necessario affinché una data corrente di cortocircuito porti i conduttori dalla temperatura massima ammissibile in servizio ordinario alla temperatura limite può esser calcolato, in prima approssimazione con la formula:

$$\sqrt{t}=K * (S/I)$$

dove:

t= durata in secondi;

S= sezione in mm<sup>2</sup>;

I= corrente effettiva di cortocircuito in ampere, espressa in valore efficace;

K= 115 per conduttori in rame isolati con PVC;

K= 135 per conduttori in rame isolati con gomma ordinaria o gomma butilica;

K= 143 per conduttori in rame isolati con gomma etilenpropilenica e propilene reticolato;

K= 74 per conduttori in alluminio isolati con PVC;

K= 87 per i conduttori in alluminio isolati con gomma ordinaria, gomma butilica, gomma etilenpropilenica o propilene reticolato;

K= 115 corrispondente ad una temperatura di 160°C, per le giunzioni saldate a stagno tra conduttori in rame.

### 9.4.3 - Conduttore di terra, conduttore equipotenziale e collettore di terra

#### Conduttore di protezione.

I conduttori di terra devono essere conformi a quanto indicato nelle specifiche che seguono e la loro sezione deve essere in accordo alle seguenti tabelle:

	Protetti meccanicamente	Non protetti meccanicamente
Protetti contro la corrosione	In accordo con 543.1	16mm <sup>2</sup> RAME
		16mm <sup>2</sup> FERRO ZINCATO
Non protetti contro la corrosione	25 mm <sup>2</sup> RAME	
	50 mm <sup>2</sup> FERRO ZINCATO	

Il collegamento di un conduttore di terra a un dispersore deve essere effettuato in modo accurato ed elettricamente soddisfacente.

La sezione del conduttore di protezione non deve essere inferiore al valore determinato con la seguente formula:

$$S_p=\sqrt{(I_2t)/K}$$

dove:

S<sub>p</sub>= sezione del conduttore di protezione (mm<sup>2</sup>);

I= valore efficace della corrente di guasto che può percorrere il conduttore di protezione;

per un guasto di impedenza trascurabile (A);

T= tempo di intervento del dispositivo di protezione (s);

K= fattore il cui valore dipende dal materiale del conduttore di protezione, dell'isolamento di altre parti e dalle temperature iniziali e finali.

Le sezioni dei conduttori di protezione non devono essere inferiori ai valori indicati nella Tabella successivamente riportata. In questo caso non è necessario effettuare la verifica su riportata.

Sezione dei conduttori di fase dell'impianto S (mm <sup>2</sup> )	Sezione minima del corrispondente conduttore di protezione S <sub>p</sub> (mm <sup>2</sup> )
S ≤ 16	S <sub>p</sub> = S
16 < S ≤ 35	16
S > 35	S <sub>p</sub> = S/2

La sezione di ogni conduttore di protezione che non faccia parte della conduttura di alimentazione non deve essere, in ogni caso, inferiore a:

- 2,5 mm<sup>2</sup> se è prevista una protezione meccanica;
- 4 mm<sup>2</sup> se non è prevista una protezione meccanica.

### **Conduttori equipotenziali.**

I conduttori equipotenziali principali devono avere una sezione non inferiore a metà di quella del conduttore di protezione di sezione più elevata dell'impianto, con un minimo di 6 mm<sup>2</sup>. Non è richiesto che la sezione superi 25 mm<sup>2</sup>, se il conduttore equipotenziale è di rame, o una sezione di conduttanza equivalente, se il conduttore è di materiale diverso.

Un conduttore equipotenziale supplementare che colleghi due masse deve avere una sezione non inferiore a quella del più piccolo conduttore di protezione collegato a masse. Un conduttore equipotenziale che connette una massa ad una massa estranea deve avere una sezione non inferiore alla metà della sezione del corrispondente conduttore di protezione.

### **Collettore (o nodo) principale di terra.**

In ogni impianto deve essere usato un terminale od una sbarra per costituire un collettore principale di terra al quale si devono collegare i seguenti conduttori:

- i conduttori di terra;
- i conduttori di protezione;
- i conduttori equipotenziali principali;
- i conduttori di terra funzionale, se richiesti.

Sul collettore di terra, in posizione accessibile, deve essere previsto un dispositivo di apertura che permetta di misurare la resistenza di terra: tale dispositivo può essere convenientemente combinato con il collettore principale di terra. Questo dispositivo deve essere apribile solo mediante attrezzo, deve essere meccanicamente robusto e deve assicurare il mantenimento della continuità elettrica.

## **9.5 - Fonti di alimentazione dell'energia elettrica**

L'allacciamento delle linee dorsali di alimentazione dei corpi illuminanti posti in facciata sarà realizzata nel quadro elettrico generale del primo piano dell'edificio, ove sono presente due interruttori magnetotermici differenziali In =16, curva C, Pdi 25 kA, Idn=0,003A, che attualmente già alimentano i corpi illuminanti ora presenti sulle facciate oggetto di intervento.

L'impianto fotovoltaico, invece, sarà collegato a un nuovo interruttore che sarà inserito nel quadro generale dell'edificio, posto nel piano seminterrato.

Il quadro elettrico generale di edificio è a sua volta alimentato dal quadro generale di bassa tensione della Cabina n. 7 di trasformazione MT/bt, collegata alla rete MT interna al Politecnico. Tale rete MT è collegata alla cabina di ricezione poste al di sotto dell'Edificio 2 del Politecnico, in Piazza Leonardo da Vinci, ove è presente il dispositivo generale (DG) della connessione.

Alla rete MT è già collegato un impianto di produzione di energia elettrica (cogeneratore) e quindi il Politecnico è già titolare di una licenza di esercizio per un'officina di produzione di energia elettrica, che dovrà essere ampliata per l'inserimento del nuovo impianto fotovoltaico.

### **Alimentazione normale.**

Frequenza: 50 Hz;

Classificazione del sistema in relazione alla tensione nominale: II categoria.

Fattore di potenza (cos  $\phi$ ): 0,9.

Sistema di distribuzione: TN-S.

## 9.6 - Impianto di illuminazione

Si prevede la sostituzione dei corpi illuminanti attualmente presenti sulla facciata nord e sud con nuovi corpi illuminanti a LED e il rifacimento delle relative linee di alimentazione elettrica.

Saranno quindi posizionati 6 nuovi corpi illuminanti sulla facciata sud, a sostituzione dei 4 ora presenti, e 3 nuovi corpi illuminanti sulla facciata nord, in sostituzione dei 2 ora presenti. I nuovi corpi illuminanti saranno posati sulla struttura dei frangisole mediante staffe.

Per l'alimentazione di tali corpi illuminanti saranno posate 2 nuove linee elettriche dorsali che partiranno dal quadro generale del primo piano esistente, ove sono presenti 2 interruttori magnetotermici differenziali già attualmente utilizzati per l'illuminazione di facciata. Le nuove linee elettriche dorsali saranno in cavo tipo FG16OM16 0,6/1 kV di sezione 3x2,5mmq.

Da tali linee dorsali saranno derivate le alimentazioni delle singole lampade, sempre in cavo tipo FG16OM16 0,6/1 kV di sezione 3x1,5mmq, posate in tubo PVC flessibile.

Il comando di accensione delle lampade sarà realizzato mediante un interruttore crepuscolare già presente, che dovrà essere ricollegato.

I corpi illuminanti previsti saranno dei proiettori a LED 86 W, grado di protezione IP66, corpo in alluminio pressofuso con alettature di raffreddamento, diffusore in vetro temperato, 4.000 K, 11.880 lm.

## 9.7 - Impianto fotovoltaico

Si prevede la realizzazione di un impianto fotovoltaico dalla potenza stimata nominale di 22 kWp, con il collegamento dei pannelli fotovoltaici integrati nei vetri della facciata sud, collegato alla rete elettrica attraverso un quadro dedicato, realizzato secondo le indicazioni delle norme CEI 0-16, CEI 11-20 e CEI 82-25.

Impianto: 57 Moduli Fotovoltaici a Totale Integrazione Architettonica (BIPV).

Modulo: con celle in silicio monocristallino da 5", 386W per modulo.

Totale metri quadri fotovoltaici: 142 mq.

Temperatura di funzionamento: da -10°C a 30°C.

Radiazione solare annua media sulla superficie verticale: 1.134 kWh/mq.

Energia elettrica producibile annua stimata:  $0,9 \cdot 142 \cdot 0,1 \cdot 1.134 \cdot 0,97 = 14.057,7$  kWh

Caduta di tensione lato c.c. minore o uguale a 2%.

Tale realizzazione comprenderà:

- la realizzazione del progetto costruttivo dell'impianto, firmato da un professionista abilitato;
- il cablaggio di almeno 19 vetri con pannelli fotovoltaici integrati, realizzato con connettori e cavo flessibile unipolare FG21M21 1200V/1200V;
- la realizzazione del quadro di parallelo;
- la realizzazione del quadro di campo per il collegamento delle stringhe;
- l'installazione di inverter di taglia e caratteristiche adatte alle dimensioni dell'impianto (indicativamente almeno 6 monofasi o 2 trifase);
- la posa di passarella metallica con coperchio e tubi in PVC rigido al piano seminterrato per il passaggio dei cavi, come da planimetrie progettuali;
- la posa della linea di collegamento tra il quadro generale di edificio posto al piano seminterrato e il quadro di parallelo, mediante cavo pentapolare FG16OM16 0,6/1kV di sezione minima 6 mmq;
- la posa del sistema di protezione di interfaccia nel quadro generale di edificio, conforme alle prescrizioni delle norme CEI 0-16 e CEI 0-21;
- la posa del dispositivo di interfaccia nel quadro generale di edificio, costituito da un interruttore automatico magnetotermico differenziale con bobina di apertura a mancanza di tensione manovrabile dall'operatore;
- la posa del pulsante di sgancio di emergenza dell'impianto sulla facciata sud dell'edificio, con i relativi collegamenti;
- la realizzazione delle verifiche sull'impianto realizzato, secondo le indicazioni delle norme CEI;
- la realizzazione delle verifiche delle regolazioni del sistema di protezione di interfaccia, trasmesse dal Distributore, mediante cassetta prova relè, necessarie per la richiesta di connessione alla rete;

- la compilazione del regolamento di esercizio per il funzionamento dell'impianto di produzione, compresi tutti gli allegati, relativamente alle sole parti inerenti l'impianto realizzato;
- la fornitura e l'installazione del contatore di energia prodotta;
- la taratura del contatore di energia prodotta effettuata da un centro di taratura accreditato da Accredia e dalla Agenzia delle Dogane, secondo le indicazioni della medesima Agenzia;
- tutte le assistenze murarie necessarie;
- quant'altro necessario al fine di ottenere l'impianto funzionante, realizzato secondo le indicazioni della norma CEI 82-25 e le richieste dell'Ente Distributore.

Il cablaggio dei pannelli in facciata fino all'ingresso degli inverter, quindi tutta la parte in c.c., sarà realizzato con cavo flessibile unipolare FG21M21 1200V/1200V di sezione 150 mmq o comunque adeguata atta a garantire la portata della corrente prevista e assicurare la caduta di tensione minore o uguale a 2%. Tali cavi saranno posati, in facciata, entro tubi flessibili in PVC e, all'interno dell'edificio, entro canalina metallica con coperchio.

Il quadro di parallelo avrà le seguenti caratteristiche e dotazioni:

- struttura da parete in resina o metallica, grado di protezione minimo IP 55, doppio isolamento, completo di porta trasparente, morsettiera, targhette.
- interruttore generale automatico magnetotermico quadripolare, curva di intervento C, potere di interruzione 16 kA, In 40A minimo, dotato di bobina di sgancio collegata al pulsante sgancio di emergenza;
- spie luminose presenza tensione con protezione sezionatore fusibile;
- un interruttore automatico magnetotermico differenziale bipolare o quadripolare per la protezione di ogni linea di collegamento di ciascun inverter, curva di intervento C, potere di interruzione 16 kA, corrente differenziale nominale 0,03A, tipo A;
- sezionatore fusibile per protezione circuiti ausiliari;
- gruppo scaricatori di sovratensione.

La caduta di tensione totale, dal quadro generale agli inverter, dovrà essere minore del 4%.

Il quadro di campo avrà le seguenti caratteristiche e dotazioni:

- struttura da parete in resina o metallica, grado di protezione minimo IP 55, doppio isolamento, completo di porta trasparente, morsettiera, targhette.
- equipaggiato almeno con le seguenti apparecchiature modulari:
- un sezionatore di campo per ogni stringa o gruppo di stringhe, idoneo a interrompere corrente continua, corrente nominale adeguata, completo di diodi di blocco e di scaricatori per la protezione da sovratensione e fulmini;
- una base portafusibile per ogni stringa o gruppo di stringhe, completa di fusibili, tensione nominale 1.000 V c.c., corrente nominale adeguata.

Il sistema di protezione di interfaccia sarà installato nel quadro generale di edificio esistente e sarà del tipo per sistema trifase, dotato delle seguenti protezioni/relè: di massima/minima tensione e frequenza, sequenza, mancanza fase, con valori di taratura delle grandezze regolabili separatamente, almeno 2 uscite a relè con portata 8A, in contenitore modulare in materiale plastico isolante per montaggio su guida DIN35, conforme CEI 0-16 e CEI 0-21.

Il dispositivo di interfaccia sarà installato nel quadro generale di edificio esistente e sarà costituito da un interruttore automatico magnetotermico differenziale quadripolare, curva di intervento C, potere di interruzione 16 kA, In 40A minimo, corrente differenziale nominale 0,3A, tipo AS.

Gli inverter saranno del tipo monofase o trifase bidirezionale per impianti connessi in rete (grid connected), conversione DC/AC realizzata con tecnica PWM e ponte a IGBT, trasformatore di isolamento in uscita, filtri EMC in ingresso ed in uscita, controllore di isolamento in c.c., dispositivo di distacco automatico dalla rete, conforme norma CEI 0-16 e CEI 0-21, tensione di uscita 230 V o 400 V c.a.  $\pm 15\%$  con frequenza 50 Hz e distorsione armonica  $< 3\%$ , efficienza  $> 90\%$ , display a cristalli liquidi, interfaccia seriale, in contenitore metallico installato a parete con grado di protezione IP 65, potenza nominale indicativa 5 kVA monofase o 8 kVA trifase.

Come indicato precedentemente l'Appaltatore dovrà anche realizzare:

- il progetto costruttivo dell'impianto proposto redatto secondo le indicazioni delle norme CEI 0-2, CEI 0-16, CEI 0-21 e CEI 82-25, firmato e timbrato da un professionista abilitato;

- la fornitura e la posa del contatore dell'energia prodotta, accanto al quadro di parallelo;
- la taratura del contatore di energia prodotta, effettuata da un Centro di Taratura autorizzato dall'Agenzia delle Dogane ad effettuare controlli metrologici su contatori elettrici e sui complessi di misura ad uso fiscale e con autorizzazione Ministeriale U.T.F.;
- le verifiche sull'impianto costruito come dalle indicazioni della norma CEI 82-25 e del Capitolato Speciale d'Appalto;
- le verifiche delle regolazioni del sistema di protezione di interfaccia mediante cassetta prova relè.

Il quadro di parallelo, il quadro di campo, gli inverter e il contatore dell'energia prodotta saranno installati in un locale tecnico posto al piano seminterrato dell'edificio.

Non è prevista l'installazione del dispositivo generale in quanto già presente sulla fornitura di media tensione a cui è collegata la cabina elettrica di trasformazione che alimenta l'edificio.

La realizzazione dell'impianto non dovrà comportare un aggravio del preesistente livello di rischio di incendio, secondo le indicazioni della Nota DCPREV prot n. 1324 del 7 febbraio 2012: Guida per l'installazione degli impianti fotovoltaici - Edizione Anno 2012 e della Nota prot. n. 6334 del 4 maggio 2012: Chiarimenti alla nota prot. DCPREV 1324 del 7 febbraio 2012 "Guida per l'installazione degli impianti fotovoltaici - Edizione 2012".

## **9.8 – Relazione di Calcolo**

La relazione di calcolo degli impianti elettrici è allegata alla presente relazione (vedi allegato 3).

## **10 TEMPI**

Il tempo previsto per la realizzazione dell'intervento è di n°410 giorni naturali e consecutivi; l'articolazione delle lavorazioni prevista è riportata nel cronoprogramma allegato. Il tempo contrattuale comprende i tempi per l'allestimento del cantiere e la chiusura finale con pulizia e tiene conto dell'incidenza dei giorni di andamento stagionale sfavorevole.

Nella redazione delle tempistiche si è tenuto conto dei vincoli riguardo alla disponibilità degli uffici; così come concordato con il Dipartimento verranno lasciate a disposizione del cantiere n°3 campate di uffici per volta a tutti i piani e la durata massima delle lavorazioni che riguarderanno gli uffici è pari a n°30 giorni naturali e consecutivi. Tali limiti e modalità operative non sono derogabili e le tempistiche totali per ogni campata sono da intendersi come limite massimo.

Per un approfondimento dell'articolazione cronologica dei lavori si rimanda al Cronoprogramma dei lavori, redatto in conformità alle previsioni dell'art.40 del D.P.R. 207/2010.

## **11 ORGANIZZAZIONE DEL PROGETTO**

Il progetto contiene elaborati descrittivi ed elaborati grafici articolati in più sezioni. Gli elaborati generali riepilogano descrizioni progettuali e clausole e norme contrattuali valide a livello generale. Le altre sezioni riguardano le varie specialità di progettazione: Opere Civili, Opere strutturali, Impianti Elettrici, Contenimento Energetico, Acustica, Sicurezza.

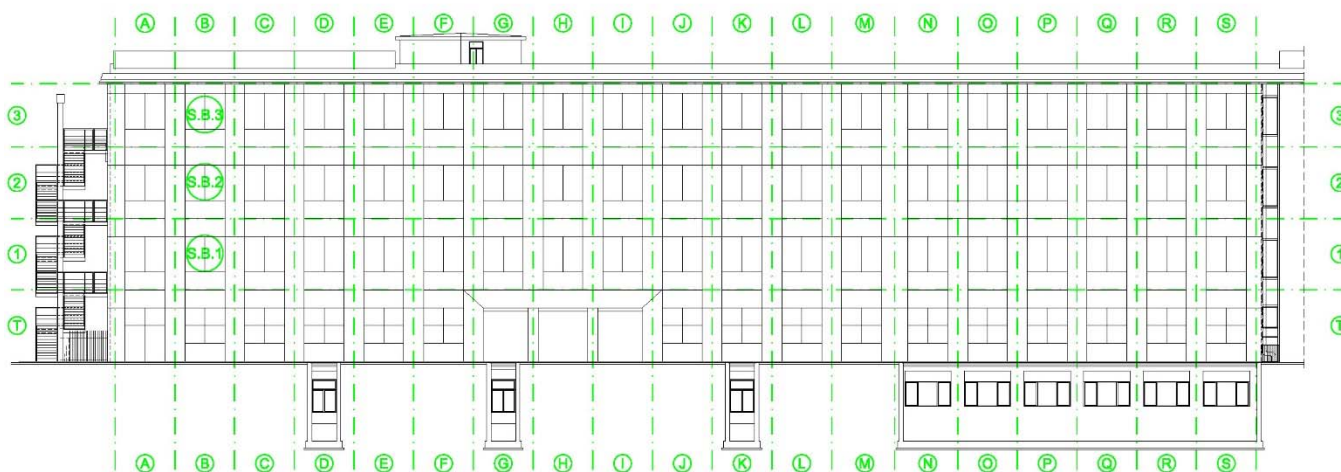
Per una organica lettura e gestione il progetto, per garantire un controllo e monitoraggio dei tempi e dei costi, nonché dello stato di avanzamento del lavoro, le lavorazioni sono impostate con un'articolazione ad "albero" che tiene conto di quanto previsto da normativa e delle pratiche di progettazione e di realizzazione dell'opera.

Il progetto è scomposto sino alle lavorazioni e/o forniture elementari con una struttura ad albero denominata W.B.S. (Work Breakdown Structure) descritta nella parte prima del Capitolato speciale d'Appalto delle opere civili.

Le lavorazioni e forniture sono rappresentate sugli elaborati grafici e descritte, oltre che nella presente relazione, nel Capitolato speciale d'appalto, in cui sono riportate, secondo le previsioni normative, anche le specifiche e prescrizioni tecniche.

### 11.1 Mappatura delle facciate

Con riferimento agli elaborati grafici che descrivono gli elementi delle facciate continue non è stato prodotto un abaco dei serramenti. Tale elaborato non è sembrato utile considerando che, nelle facciate continue, sono presenti solo due tipologie di finestre e due tipologie di porte. Nell'ottica di fornire una rappresentazione esauriente degli elementi che compongono l'involucro, le facciate sono state suddivise con una griglia costituita da assi verticali allineati ai pilastri e assi orizzontali allineati con i solai. Tale frazionamento delle facciate consente una mappatura dei settori di facciata denominati "celle" identificati da un codice costituito da tre caratteri alfanumerici. Il primo carattere indica il prospetto (S=sud, N=nord, O=ovest, I=corpo interno), il secondo carattere indica la campata (A, B, C...) e il terzo carattere indica il piano (-1=interrato, T=terra, 1=primo, 2=secondo, 3=terzo). Di seguito si riporta, a titolo esemplificativo la mappatura della facciata sud con l'individuazione di tre celle (S.B.1, S.B.2, S.B.3).



Mappatura facciata sud

La facciata sud viene così scomposta in 76 celle. Di queste sono stati sviluppati i particolari in scala 1:20 delle celle tipiche, che risultano in totale 25, in modo da descrivere compiutamente tutti gli elementi di facciata nella loro singolarità (piano terra, piano terzo, campate d'angolo, portale d'ingresso, campate con giunto strutturale ...).

Con la stessa logica adottata per il prospetto sud si è proceduto alla mappatura e allo sviluppo dei particolari di facciata per i prospetti nord, ovest e per i prospetti del corpo servizi (interno).

Tra gli elaborati di progetto vi è anche lo sviluppo dei nodi tipici della facciata continua in scala 1:2.

Con riferimento ai serramenti localizzati a piano interrato, che non fanno parte della facciata continua, è stato prodotto un abaco serramenti che identifica e descrive le tipologie previste a progetto.

E' da sottolineare che nelle relazioni e negli elaborati progettuali sono talvolta riportate alcune marche di materiali o impianti di riferimento. Tali elementi sono necessari per la definizione delle specifiche prestazionali, ad esempio per quanto riguarda le prestazioni acustiche, e perché siano individuati prodotti

esistenti sul mercato per cui il progetto risulti fattibile. Le marche e modelli di materiali impianti ed apparecchiature non sono in alcun modo vincolanti e in corrispondenza dell'indicazione di marche e modelli si intende sempre riportata la dicitura "o equivalente" anche se per pura dimenticanza non fosse eventualmente riportata; naturalmente le prestazioni corrispondenti sono minime e saranno accettati materiali e apparecchiature con prestazione almeno equivalenti o superiori.

## **12 AUTORIZZAZIONI E ASSENTIMENTI**

L'intervento si classifica come manutenzione straordinaria ai sensi dell'articolo 3, comma 1, lettera b) del D.P.R. n. 380/2001 ed è subordinato a segnalazione certificata di inizio di attività ai sensi dell'articolo 22, comma 1, lettera a) del D.P.R. n. 380/2001. La pratica deve essere protocollata presso lo sportello unico dell'edilizia del comune di Milano prima dell'inizio dei lavori. Negli elaborati di progetto vengono verificati i rapporti aero-illuminanti negli ambienti dove tali rapporti sono più sfavorevoli.

Con riferimento al rispetto della normativa sull'abbattimento delle barriere architettoniche si segnala che il progetto non modifica in alcun modo l'accessibilità all'edificio, quindi non vengono prodotti elaborati specifici su tale tema.

L'immobile non è sottoposto a vincolo di tutela ai sensi del d.lgs. n. 42/2004, pertanto non è necessaria l'autorizzazione della Soprintendenza per i beni architettonici e paesaggistici di Milano.

Con riferimento alle norme di Prevenzione Incendi si segnala che l'Ateneo non ha ancora provveduto all'ottenimento del Certificato di Prevenzione Incendi per l'immobile in oggetto. Per sanare tale carenza nell'ambito di un appalto di prestazione per la regolarizzazione delle pratiche di prevenzione incendi di tutti gli edifici di Ateneo, è stata presentata la pratica per l'ottenimento del parere di conformità del progetto che contempla la facciata nella nuova configurazione. Il parere di conformità rilasciato dal Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco sarà allegato alla segnalazione certificata di inizio di attività prima dell'inizio dei lavori.

Si allega alla presente relazione lo stralcio della relazione tecnica presentata ai vigili del fuoco, contestualmente alla domanda di valutazione del progetto di prevenzione incendi, contenente le prescrizioni sul cappotto e sui pannelli fotovoltaici che l'appaltatore dovrà rispettare integralmente (allegato 2).

## **Allegato 1: Risultati delle analisi sui campioni di Lana Minerale**

### *Fibre Artificiali Vetrose (FAV)*

Sono stati prelevati n° 2 campioni di lana minerale:

1° campione presso un ufficio del 1° piano dell'edificio 20;

2° campione nel sottofinestra del 3° piano dell'edificio 20.

Dalle analisi eseguite risulta che le fibre hanno un **diametro medio geometrico inferiore a 6 micron, ma un contenuto di Ossidi alcalini - alcalino terrosi > 18%** (il primo 24,8% e il secondo 30,2).

Pertanto, come previsto dalle **Linee Guida della Regione Lombardia dell'ottobre 2010**, per le modalità operative, si ricade nel **“Caso 3”**:

***“In questo caso le FAV non sono da considerarsi cancerogene.***

*Pertanto la rimozione dovrà avvenire secondo un'analisi del rischio sito specifica ed elaborata dall'impresa che effettua la bonifica, la quale adotterà le procedure più adeguate per la sicurezza dei lavoratori e della popolazione. Tale valutazione del rischio dovrà fare riferimento al fatto che l'esperienza, acquisita in tema di bonifiche di fibre, ha rilevato che queste determinano comunque effetti irritativi, temporanei e localizzati, dovuti ad un effetto meccanico della fibra sulla cute esposta.*

*In base al principio minimizzazione del rischio, poiché queste fibre sono comunque respirabili, si prescrivono come minimo i seguenti dispositivi di protezione individuali dei lavoratori (DPI):*

- *Maschera facciali filtranti usa e getta FFP3;*
- *Tuta e calzari monouso;*
- *Guanti.*

*Riguardo alle modalità operative di rimozione è consigliata l'asportazione ad umido mediante nebulizzazione e utilizzo di attrezzature manuali per minimizzare il rilascio di fibre nell'ambiente.*

*Il rifiuto prodotto dalle attività di bonifica precedentemente descritte avrà codice:*

- **17 06 04 – materiali isolanti diversi da quelli di cui alle voci 17 06 01\* e 17 06 03\*”**

Spett.le

**Politecnico di Milano 1863**  
Piazza L. da Vinci, 32  
20133 Milano (MI)

## RAPPORTO DI PROVA

Numero 5819/1/2015 del 26/11/2015

Riferimento interno: 5.819/1

Identificazione: 1 - Edificio 20 - Campus Bassini - Ufficio - 1° piano

Provenienza: Politecnico di Milano  
Piazza Leonardo da Vinci, 32 - Milano 20133

Data prelievo: 18/11/2015 Data ricevimento: 18/11/2015 Data inizio prove: 19/11/2015 Data termine prove: 23/11/2015

Categoria merceologica: Amianto e Fibre Minerali Artificiali

Descrizione del campione: Fibre artificiali vetrose

Prelevato da: Cliente

## RISULTATI ANALITICI

Analisi ai sensi della Circolare del Ministero della Sanità n. 4 del 15 Marzo 2000

Parametri	UM	Esiti	Incertezza	Limiti
Fibre minerali artificiali (Diametro medio geometrico ponderato sulla lunghezza): DLG-2ES M.I. 01:2004 rev.01 del 13/12/2008	um	5,06		-
Sommatoria degli ossidi alcalino-alcalino terrosi M.I. 73:2011 rev.00 del 04/01/2011	%	24,8		-

Il Responsabile di Laboratorio  
dott. Fabio Di Virgilio

Il DIRETTORE TECNICO  
dott. Ruggero Caserta  
Iscr. Albo Professionale n.052884

Firmato digitalmente da  
Ruggero Caserta

SILEA S.r.l. Sede legale: Via Moncalvo, 29 - 20146 Milano (MI)  
Sede Amm.va e operativa: Via Moncalvo 33/35 20146 Milano (MI)  
tel. +39.02.40095293 fax +39.02.40094637 www.sileasrl.it info@sileasrl.it  
Capitale sociale 10.400,00 Euro i.v. - Sez. Ord. R.I. di Milano 11634000159 E.A. di Milano 1485547 - C.F. e P.I. 11634000159

CN: Ruggero Caserta  
O: INFOCERT SPA  
OU: Certificatore Accreditato

Documento firmato digitalmente ai sensi della normativa vigente.

I risultati espressi nel presente rapporto di prova sono da riferirsi solo ed esclusivamente al campione sottoposto ad analisi.

Se il campionamento viene eseguito dal cliente, il laboratorio non si assume alcuna responsabilità circa la rispondenza dei dati analitici tra il campione ricevuto e l'intero lotto o partita da cui lo stesso è stato prelevato.

Il risultato così come è espresso in unità di misura, è stato ottenuto mediante il calcolo effettuato sulla misura che il committente ha espressamente dichiarato di aver campionata, riportata nel documento di accompagnamento agli atti.

Il presente rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente salvo approvazione scritta del laboratorio.

L'incertezza indicata nel presente Rapporto di Prova è espressa come estesa con il fattore di copertura K=2 ad un livello di fiducia del 95% ed è riportata nelle stesse unità di misura del risultato della prova.

I campioni analizzati vengono conservati per un periodo di tre mesi fermo restando la reperibilità degli stessi e la documentazione relativa alle prove è conservata in formato elettronico negli archivi informatici del laboratorio per un periodo minimo di quattro anni salvo diverse disposizioni di legge, richieste o comunicazioni scritte da parte del Cliente.

Spett.le

**Politecnico di Milano 1863**  
Piazza L. da Vinci, 32  
20133 Milano (MI)

## RAPPORTO DI PROVA

Numero 5819/2/2015 del 26/11/2015

Riferimento interno: 5.819/2

**Identificazione:** 2 - Edificio 20 - Campus Bassini - Sottosfinesira - 3° piano

**Provenienza:** Politecnico di Milano  
Piazza Leonardo da Vinci, 32 - Milano 20133

**Data prelievo:** 18/11/2015 **Data ricevimento:** 18/11/2015 **Data inizio prove:** 19/11/2015 **Data termine prove:** 23/11/2015

**Categoria merceologica:** Amianto e Fibre Minerali Artificiali

**Descrizione del campione:** Fibre artificiali vetrose

**Prelevato da:** Cliente

## RISULTATI ANALITICI

Analisi ai sensi della Circolare del Ministero della Sanità n. 4 del 15 Marzo 2000

Parametri	UM	Esiti	Incertezza	Limiti
<b>Fibre minerali artificiali (Diametro medio geometrico ponderato sulla lunghezza):</b> <b>DLG-2ES</b> M.I. 01:2004 rev.01 del 13/12/2008	um	4,51		-
<b>Sommatoria degli ossidi alcalino-alcalino terrosi</b> M.I. 73:2011 rev.00 del 04/01/2011	%	30,2		-

**Il Responsabile di Laboratorio**  
dott. Fabio Di Virgilio

**Il DIRETTORE TECNICO**  
dott. Ruggero Caserta  
Iscr. Albo Professionale n.052884

Firmato digitalmente da  
Ruggero Caserta

SILEA S.r.l. Sede legale: Via Moncalvo, 29 - 20146 Milano (MI)  
Sede Amm.va e operativa: Via Moncalvo 33/35 20146 Milano (MI)  
tel. +39.02.40095293 fax +39.02.40094637 www.sileasrl.it info@sileasrl.it  
Capitale sociale 10.400,00 Euro i.v. - Sez. Ord. R.I. di Milano 11634000159 E.A. di Milano 1485547 - C.F. e P.I. 11634000159

Documento firmato digitalmente ai sensi della normativa vigente.

I risultati espressi nel presente rapporto di prova sono da riferirsi solo ed esclusivamente al campione sottoposto ad analisi.

Se il campionamento viene eseguito dal cliente, il laboratorio non si assume alcuna responsabilità circa la rispondenza dei dati analitici tra il campione ricevuto e l'intero lotto o partita da cui lo stesso è stato prelevato.

Il risultato così come è espresso in unità di misura, è stato ottenuto mediante ricalcolo effettuato sulla misura che il committente ha espressamente dichiarato di aver campionato, riportata nel documento di accompagnamento agli atti.

Il presente rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente salvo approvazione scritta del laboratorio.

L'incertezza indicata nel presente Rapporto di Prova è espressa come estesa con il fattore di copertura K=2 ad un livello di fiducia del 95% ed è riportata nelle stesse unità di misura del risultato della prova.

I campioni analizzati vengono conservati per un periodo di tre mesi fermo restando la disponibilità degli stessi e la documentazione relativa alle prove e conservata in formato elettronico negli archivi informatici del laboratorio per un periodo minimo di quattro anni salvo diverse disposizioni di legge, richieste o comunicazioni scritte da parte del Cliente.

## **Allegato 2: stralcio della relazione tecnica del progetto di prevenzione incendi**

## **5. IMPIANTO FOTOVOLTAICO**

### **5.1 PREMESSA**

Le facciate dell'edificio, per ragioni estetiche e di contenimento energetico, verranno sostituite da una nuova struttura costituita in parte da cappotto esterno isolante ed in parte da vetrate trasparenti; sulla facciata fronte Sud verranno sovrapposti pannelli fotovoltaici.

Si illustrano qui di seguito le caratteristiche principali delle facciate, le cui sezioni tipo sono riportate anche sulle planimetrie qui allegate.

### **5.2 CAPPOTTO ESTERNO**

Il "cappotto esterno" verrà:

- realizzato accoppiando materiali aventi reazione al fuoco non inferiore alle Classe 1 (o Euroclasse equivalente)
- fissato al nuovo setto interno di cartongesso, la cui lastra prospettante l'interno del fabbricato sarà del tipo incombustibile (Euroclasse A1)
- esternamente protetto dagli agenti atmosferici mediante pannello tipo "Alucobond" di Classe 1 (o Euroclasse equivalente) e/o pannello fotovoltaico di Classe 1 (o Euroclasse equivalente).

Ciò premesso, e tenuto conto che:

- il DM 26.08.1992 nulla prescrive in merito ai cappotti esterni
- il DM 26.08.1992 nulla prescrive in merito alla reazione al fuoco degli elementi posti all'esterno
- il D.M. 15.03.2005 nulla prescrive in merito alla protezione dei prodotti isolanti collocati all'esterno
- viene impiegato materiale di Classe 1 conforme alla guida tecnica emanata dal Ministero, con nota n° 5043 del 15.04.13, relativa alle facciate negli edifici civili (comunque non cogente).

Tutto ciò considerato, si ritiene che vengano garantite idonee condizioni di sicurezza.

### **5.3 IMPIANTO FOTOVOLTAICO**

### 5.3.1 Generalità

L'impianto fotovoltaico (FV) sarà installato “a macchia” sulla facciata Sud, dal piano 1° al piano 3°, come meglio evidenziato sulle planimetrie allegate.

L'impianto fotovoltaico:

- sarà realizzato in conformità alla nota del Ministero Interno Prot. n° 6334 del 04.05.2012
- presenterà una tensione, in corrente continua, non superiore a 1.500V
- sarà progettato, realizzato e mantenuto a regola d'arte e secondo i documenti tecnici emanati dal CEI (norme e guide) e/o dagli organismi di normazione internazionale per cui sarà realizzato a regola d'arte.
- tutti i componenti saranno conformi alle disposizioni comunitarie o nazionali applicabili. In particolare, il modulo fotovoltaico sarà conforme alle Norme CEI EN 61730-1 e CEI EN 61730-2
- sarà installato in modo da evitare la propagazione di un incendio dal generatore fotovoltaico al fabbricato nel quale è incorporato.

### 5.3.2 Ubicazione dei moduli fotovoltaici

L'ubicazione dei moduli e delle condutture elettriche consentirà sempre il corretto funzionamento e la manutenzione di eventuali evacuatori di fumo e di calore (EFC) presenti, nonché tener conto, in base all'analisi del rischio incendio a cura dell'installatore, dell'esistenza di possibili vie di veicolazione di incendi (lucernari, camini, ecc.).

Come meglio evidenziato sulle planimetrie allegate, i pannelli fotovoltaici saranno posti, a coppie, nelle parti cieche tra le finestre di due piani consecutivi; in particolare saranno posti a “filo” delle finestra sovrastante e ad almeno 1 m dalla finestra sottostante.

Le coppie di pannelli fotovoltaici risulteranno pertanto distribuite “a macchia”, tra loro distanziate di almeno 1,0 m.

### 5.3.3 Reazione al fuoco

I moduli fotovoltaici che presentano reazione al fuoco non inferiore alla Classe 1 (o Euroclasse equivalente), verranno installati a ridosso del cappotto esterno, anch'esso di Classe 1 (o Euroclasse equivalente), come ammesso dalla Nota Prot. n° 6334 del 04.05.2012.

#### 5.3.4 Altre caratteristiche

L'impianto FV presenterà inoltre le seguenti caratteristiche:

- sarà provvisto di un dispositivo di comando di emergenza, ubicato in posizione segnalata ed accessibile, che determini il sezionamento dell'impianto elettrico, all'interno del compartimento/fabbricato nei confronti delle sorgenti di alimentazione, ivi compreso l'impianto fotovoltaico.
- in caso di eventuale presenza di gas, vapori, nebbie infiammabili o polveri combustibili, al fine di evitare i pericoli determinati dall'innesco elettrico, la parte di impianto in corrente continua, compreso l'inverter, sarà installato all'esterno delle zone classificate ai sensi del D. Lgs. 81/2008 - allegato XLIX;
- nei luoghi con eventuale pericolo di esplosione per la presenza di materiale esplodente, il generatore fotovoltaico e tutti gli altri componenti in corrente continua costituenti potenziali fonti di innesco, saranno installati alle distanze di sicurezza stabilite dalle norme tecniche applicabili;
- i componenti dell'impianto non saranno installati in luoghi definiti "luoghi sicuri" ai sensi del D.M. 30.11.1983, nè essere di intralcio alle vie di esodo;
- le strutture portanti, ai fini del soddisfacimento dei livelli di prestazione contro l'incendio di cui al D.M. 09.03.2007, saranno verificate e documentate tenendo conto delle condizioni dei carichi strutturali sulla copertura, dovute alla presenza del generatore fotovoltaico, anche con riferimento al D.M. 14.10.11.2008 "Norme tecniche per le costruzioni".

Al termine dei lavori sarà acquisita la dichiarazione di conformità di tutto l'impianto fotovoltaico, ai sensi del D.M. 371/2008.

Per impianti con potenza nominale superiore a 20 kW sarà acquisita la documentazione prevista dalla Lettera Circolare M.I. Prot. n. P51514101 sott. 721E.6 del 24 aprile 2008 e successive modifiche ed integrazioni.

Periodicamente e ad ogni trasformazione, ampliamento o modifica dell'impianto saranno eseguite e documentate le verifiche ai fini del rischio incendio dell'impianto fotovoltaico, con particolare attenzione ai sistemi di giunzione e di serraggio.

L'area in cui è ubicato il generatore ed i suoi accessori, qualora accessibile, sarà segnalata con apposita cartellonistica conforme al D.Lgs. 81/2008. La predetta cartellonistica riporterà la seguente dicitura:

***ATTENZIONE: IMPIANTO FOTOVOLTAICO IN TENSIONE***

***DURANTE LE ORE DIURNE (..... Vo/t).***

La predetta segnaletica, resistente ai raggi ultravioletti, sarà installata ogni 10 m per i tratti di condotta.

Detta segnaletica sarà installata in corrispondenza di tutti i varchi di accesso del fabbricato.

I dispositivi di sezionamento di emergenza saranno individuati con la segnaletica di sicurezza di cui al titolo V del D.Lgs.81/2008.

Gli operatori VVFF. attueranno quanto previsto nella nota PROTEM 622/867 del 18.02.2011, recante "Procedure in caso di intervento in presenza di pannelli fotovoltaici e sicurezza degli operatori vigili del fuoco".

## **Allegato 3: Relazione di calcolo Impianti Elettrici**



## Relazione di calcolo

**Commessa** Ed\_20\_fotovoltaico

**Descrizione**

**Cliente**

**Luogo**

**Responsabile**

**Data** 10/07/2017

**Alimentazioni**

**Tipo di quadro**

**Grado di protezione**

**Materiali usati**

**Riferimenti**

**Parametri** <Default>

**Operatore**

# RELAZIONE SUL CALCOLO ESEGUITO

## Calcolo delle correnti di impiego

Il calcolo delle correnti d'impiego viene eseguito in base alla classica espressione:

$$I_b = \frac{P_d}{k_{ca} \cdot V_n \cdot \cos \varphi}$$

nella quale:

- $k_{ca} = 1$  sistema monofase o bifase, due conduttori attivi;
- $k_{ca} = 1.73$  sistema trifase, tre conduttori attivi.

Se la rete è in corrente continua il fattore di potenza  $\cos \varphi$  è pari a 1.

Dal valore massimo (modulo) di  $I_b$  vengono calcolate le correnti di fase in notazione vettoriale (parte reale ed immaginaria) con le formule:

$$\begin{aligned}\dot{I}_1 &= I_b \cdot e^{-j\varphi} = I_b \cdot (\cos \varphi - j \sin \varphi) \\ \dot{I}_2 &= I_b \cdot e^{-j(\varphi - 2\pi/3)} = I_b \cdot \left( \cos \left( \varphi - \frac{2\pi}{3} \right) - j \sin \left( \varphi - \frac{2\pi}{3} \right) \right) \\ \dot{I}_3 &= I_b \cdot e^{-j(\varphi - 4\pi/3)} = I_b \cdot \left( \cos \left( \varphi - \frac{4\pi}{3} \right) - j \sin \left( \varphi - \frac{4\pi}{3} \right) \right)\end{aligned}$$

Il vettore della tensione  $V_n$  è supposto allineato con l'asse dei numeri reali:

$$\dot{V}_n = V_n + j0$$

La potenza di dimensionamento  $P_d$  è data dal prodotto:

$$P_d = P_n \cdot coeff$$

nella quale *coeff* è pari al fattore di utilizzo per utenze terminali oppure al fattore di contemporaneità per utenze di distribuzione.

La potenza  $P_n$ , invece, è la potenza nominale del carico per utenze terminali, ovvero, la somma delle  $P_d$  delle utenze a valle ( $\Sigma P_d$  a valle) per utenze di distribuzione (somma vettoriale).

La potenza reattiva delle utenze viene calcolata invece secondo la:

$$Q_n = P_n \cdot \tan \varphi$$

per le utenze terminali, mentre per le utenze di distribuzione viene calcolata come somma vettoriale delle potenze reattive nominali a valle ( $\Sigma Q_d$  a valle).

Il fattore di potenza per le utenze di distribuzione viene valutato, di conseguenza, con la:

$$\cos \varphi = \cos \left( \arctan \left( \frac{Q_n}{P_n} \right) \right)$$

## Dimensionamento dei cavi

Il criterio seguito per il dimensionamento dei cavi è tale da poter garantire la protezione dei conduttori alle correnti di sovraccarico.

In base alla norma CEI 64-8/4 (par. 433.2), infatti, il dispositivo di protezione deve essere coordinato con la conduttura in modo da verificare le condizioni:

$$a) \quad I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$b) \quad I_f \leq 1.45 \cdot I_z$$

Per la condizione a) è necessario dimensionare il cavo in base alla corrente nominale della protezione a monte. Dalla corrente  $I_b$ , pertanto, viene determinata la corrente nominale della protezione (seguendo i valori normalizzati) e con questa si procede alla determinazione della sezione.

Il dimensionamento dei cavi rispetta anche i seguenti casi:

- condutture senza protezione derivate da una conduttura principale protetta contro i sovraccarichi con dispositivo idoneo ed in grado di garantire la protezione anche delle condutture derivate;
- conduttura che alimenta diverse derivazioni singolarmente protette contro i sovraccarichi, quando la somma delle correnti nominali dei dispositivi di protezione delle derivazioni non supera la portata  $I_z$  della conduttura principale.

L'individuazione della sezione si effettua utilizzando le tabelle di posa assegnate ai cavi. Elenchiamo alcune tabelle, indicate per il mercato italiano:

- IEC 60364-5-52 (PVC/EPR);
- IEC 60364-5-52 (Mineral);
- CEI-UNEL 35024/1;
- CEI-UNEL 35024/2;
- CEI-UNEL 35026;
- CEI 20-91 (HEPR).

In media tensione, la gestione del calcolo si divide a seconda delle tabelle scelte:

- CEI 11-17;
- CEI UNEL 35027 (1-30kV).
- EC 60502-2 (6-30kV)
- IEC 61892-4 off-shore (fino a 30kV)

Il programma gestisce ulteriori tabelle, specifiche per alcuni paesi. L'elenco completo è disponibile nei Riferimenti normativi.

Esse oltre a riportare la corrente ammissibile  $I_z$  in funzione del tipo di isolamento del cavo, del tipo di posa e del numero di conduttori attivi, riportano anche la metodologia di valutazione dei coefficienti di declassamento.

La portata minima del cavo viene calcolata come:

$$I_{z \min} = \frac{I_n}{k}$$

dove il coefficiente  $k$  ha lo scopo di declassare il cavo e tiene conto dei seguenti fattori:

- tipo di materiale conduttore;
- tipo di isolamento del cavo;
- numero di conduttori in prossimità compresi eventuali paralleli;
- eventuale declassamento deciso dall'utente.

La sezione viene scelta in modo che la sua portata (moltiplicata per il coefficiente k) sia superiore alla  $I_{z \text{ min}}$ . Gli eventuali paralleli vengono calcolati nell'ipotesi che abbiano tutti la stessa sezione, lunghezza e tipo di posa (vedi norma 64.8 par. 433.3), considerando la portata minima come risultante della somma delle singole portate (declassate per il numero di paralleli dal coefficiente di declassamento per prossimità).

La condizione b) non necessita di verifica in quanto gli interruttori che rispondono alla norma CEI 23.3 hanno un rapporto tra corrente convenzionale di funzionamento  $I_f$  e corrente nominale  $I_n$  minore di 1.45 ed è costante per tutte le tarature inferiori a 125 A. Per le apparecchiature industriali, invece, le norme CEI 17.5 e IEC 947 stabiliscono che tale rapporto può variare in base alla corrente nominale, ma deve comunque rimanere minore o uguale a 1.45.

Risulta pertanto che, in base a tali normative, la condizione b) sarà sempre verificata.

Le condutture dimensionate con questo criterio sono, pertanto, protette contro le sovracorrenti.

## Integrale di Joule

Dalla sezione dei conduttori del cavo deriva il calcolo dell'integrale di Joule, ossia la massima energia specifica ammessa dagli stessi, tramite la:

$$I^2 \cdot t = K^2 \cdot S^2$$

La costante K viene data dalla norma 64-8/4 (par. 434.3), per i conduttori di fase e neutro e, dal paragrafo 64-8/5 (par. 543.1), per i conduttori di protezione in funzione al materiale conduttore e al materiale isolante. Per i cavi ad isolamento minerale le norme attualmente sono allo studio, i paragrafi sopracitati riportano però nella parte commento dei valori prudenziali.

I valori di K riportati dalla norma sono per i conduttori di fase (par. 434.3):

Cavo in rame e isolato in PVC:	K = 115
Cavo in rame e isolato in gomma G:	K = 135
Cavo in rame e isolato in gomma etilenpropilenica G5-G7:	K = 143
Cavo in rame serie L rivestito in materiale termoplastico:	K = 115
Cavo in rame serie L nudo:	K = 200
Cavo in rame serie H rivestito in materiale termoplastico:	K = 115
Cavo in rame serie H nudo:	K = 200
Cavo in alluminio e isolato in PVC:	K = 74
Cavo in alluminio e isolato in G, G5-G7:	K = 92

I valori di K per i conduttori di protezione unipolari (par. 543.1) tab. 54B:

Cavo in rame e isolato in PVC:	K = 143
Cavo in rame e isolato in gomma G:	K = 166
Cavo in rame e isolato in gomma G5-G7:	K = 176
Cavo in rame serie L rivestito in materiale termoplastico:	K = 143
Cavo in rame serie L nudo:	K = 228
Cavo in rame serie H rivestito in materiale termoplastico:	K = 143
Cavo in rame serie H nudo:	K = 228
Cavo in alluminio e isolato in PVC:	K = 95
Cavo in alluminio e isolato in gomma G:	K = 110

Cavo in alluminio e isolato in gomma G5-G7:

$K = 116$

I valori di K per i conduttori di protezione in cavi multipolari (par. 543.1) tab. 54C:

Cavo in rame e isolato in PVC:

$K = 115$

Cavo in rame e isolato in gomma G:

$K = 135$

Cavo in rame e isolato in gomma G5-G7:

$K = 143$

Cavo in rame serie L rivestito in materiale termoplastico:

$K = 115$

Cavo in rame serie L nudo:

$K = 228$

Cavo in rame serie H rivestito in materiale termoplastico:

$K = 115$

Cavo in rame serie H nudo:

$K = 228$

Cavo in alluminio e isolato in PVC:

$K = 76$

Cavo in alluminio e isolato in gomma G:

$K = 89$

Cavo in alluminio e isolato in gomma G5-G7:

$K = 94$

## Dimensionamento dei conduttori di neutro

La norma CEI 64-8 par. 524.2 e par. 524.3, prevede che la sezione del conduttore di neutro, nel caso di circuiti polifasi, possa avere una sezione inferiore a quella dei conduttori di fase se sono soddisfatte le seguenti condizioni:

- il conduttore di fase abbia una sezione maggiore di  $16 \text{ mm}^2$ ;
- la massima corrente che può percorrere il conduttore di neutro non sia superiore alla portata dello stesso
- la sezione del conduttore di neutro sia almeno uguale a  $16 \text{ mm}^2$  se il conduttore è in rame e a  $25 \text{ mm}^2$  se il conduttore è in alluminio.

Nel caso in cui si abbiano circuiti monofasi o polifasi e questi ultimi con sezione del conduttore di fase minore di  $16 \text{ mm}^2$  se conduttore in rame e  $25 \text{ mm}^2$  se conduttore in alluminio, il conduttore di neutro deve avere la stessa sezione del conduttore di fase. In base alle esigenze progettuali, sono gestiti fino a tre metodi di dimensionamento del conduttore di neutro, mediante:

- determinazione in relazione alla sezione di fase;
- determinazione tramite rapporto tra le portate dei conduttori;
- determinazione in relazione alla portata del neutro.

Il primo criterio consiste nel determinare la sezione del conduttore in questione secondo i seguenti vincoli dati dalla norma:

$$\begin{aligned} S_f < 16 \text{ mm}^2: & \quad S_n = S_f \\ 16 \leq S_f \leq 35 \text{ mm}^2: & \quad S_n = 16 \text{ mm}^2 \\ S_f > 35 \text{ mm}^2: & \quad S_n = S_f / 2 \end{aligned}$$

Il secondo criterio consiste nell'impostare il rapporto tra le portate del conduttore di fase e il conduttore di neutro, e il programma determinerà la sezione in base alla portata.

Il terzo criterio consiste nel dimensionare il conduttore tenendo conto della corrente di impiego circolante nel neutro come per un conduttore di fase.

Le sezioni dei neutri possono comunque assumere valori differenti rispetto ai metodi appena citati, comunque sempre calcolati a regola d'arte.

## Dimensionamento dei conduttori di protezione

Le norme CEI 64.8 par. 543.1 prevedono due metodi di dimensionamento dei conduttori di protezione:

- determinazione in relazione alla sezione di fase;
- determinazione mediante calcolo.

Il primo criterio consiste nel determinare la sezione del conduttore di protezione seguendo vincoli analoghi a quelli introdotti per il conduttore di neutro:

$$\begin{aligned} S_f < 16\text{mm}^2: & \quad S_{PE} = S_f \\ 16 \leq S_f \leq 35\text{mm}^2: & \quad S_{PE} = 16\text{mm}^2 \\ S_f > 35\text{mm}^2: & \quad S_{PE} = S_f / 2 \end{aligned}$$

Il secondo criterio determina tale valore con l'integrale di Joule, ovvero la sezione del conduttore di protezione non deve essere inferiore al valore determinato con la seguente formula:

$$S_p = \frac{\sqrt{I^2 \cdot t}}{K}$$

dove:

- $S_p$  è la sezione del conduttore di protezione ( $\text{mm}^2$ );
- $I$  è il valore efficace della corrente di guasto che può percorrere il conduttore di protezione per un guasto di impedenza trascurabile (A);
- $t$  è il tempo di intervento del dispositivo di protezione (s);
- $K$  è un fattore il cui valore dipende dal materiale del conduttore di protezione, dell'isolamento e di altre parti.

Se il risultato della formula non è una sezione unificata, viene presa una unificata immediatamente superiore.

In entrambi i casi si deve tener conto, per quanto riguarda la sezione minima, del paragrafo 543.1.3. Esso afferma che la sezione di ogni conduttore di protezione che non faccia parte della conduttura di alimentazione non deve essere, in ogni caso, inferiore a:

- 2,5  $\text{mm}^2$  rame o 16  $\text{mm}^2$  alluminio se è prevista una protezione meccanica;
- 4  $\text{mm}^2$  o 16  $\text{mm}^2$  alluminio se non è prevista una protezione meccanica;

E' possibile, altresì, determinare la sezione mediante il rapporto tra le portate del conduttore di fase e del conduttore di protezione.

Nei sistemi TT, la sezione dei conduttori di protezione può essere limitata a:

- 25  $\text{mm}^2$ , se in rame;
- 35  $\text{mm}^2$ , se in alluminio;

## Calcolo della temperatura dei cavi

La valutazione della temperatura dei cavi si esegue in base alla corrente di impiego e alla corrente nominale tramite le seguenti espressioni:

$$T_{cavo}(I_b) = T_{ambiente} + \left( \alpha_{cavo} \cdot \frac{I_b^2}{I_z^2} \right)$$

$$T_{cavo}(I_n) = T_{ambiente} + \left( \alpha_{cavo} \cdot \frac{I_n^2}{I_z^2} \right)$$

esprese in °C.

Esse derivano dalla considerazione che la sovratemperatura del cavo a regime è proporzionale alla potenza in esso dissipata.

Il coefficiente  $\alpha_{cavo}$  è vincolato dal tipo di isolamento del cavo e dal tipo di tabella di posa che si sta usando.

## Cadute di tensione

Le cadute di tensione sono calcolate vettorialmente. Per ogni utenza si calcola la caduta di tensione vettoriale lungo ogni fase e lungo il conduttore di neutro (se distribuito). Tra le fasi si considera la caduta di tensione maggiore che viene riportata in percentuale rispetto alla tensione nominale:

$$c.d.t(ib) = \max \left( \sum_{i=1}^k \dot{Z}_{f_i} \cdot \dot{I}_{f_i} - \dot{Z}_{n_i} \cdot \dot{I}_{n_i} \right)_{f=R,S,T}$$

con  $f$  che rappresenta le tre fasi R, S, T;

con  $n$  che rappresenta il conduttore di neutro;

con  $i$  che rappresenta le  $k$  utenze coinvolte nel calcolo;

Il calcolo fornisce, quindi, il valore esatto della formula approssimata:

$$cdt(I_b) = k_{cdt} \cdot I_b \cdot \frac{L_c}{1000} \cdot (R_{cavo} \cdot \cos \varphi + X_{cavo} \cdot \sin \varphi) \cdot \frac{100}{V_n}$$

con:

- $k_{cdt}=2$  per sistemi monofase;
- $k_{cdt}=1.73$  per sistemi trifase.

I parametri  $R_{cavo}$  e  $X_{cavo}$  sono ricavati dalla tabella UNEL in funzione del tipo di cavo (unipolare/multipolare) ed alla sezione dei conduttori; di tali parametri il primo è riferito a 70° C per i cavi con isolamento PVC, a 90° C per i cavi con isolamento EPR; mentre il secondo è riferito a 50Hz, ferme restando le unità di misura in  $\Omega/\text{km}$ .

Se la frequenza di esercizio è differente dai 50 Hz si imposta

$$X'_{cavo} = \frac{f}{50} \cdot X_{cavo}$$

La caduta di tensione da monte a valle (totale) di una utenza è determinata come somma delle cadute di tensione vettoriale, riferite ad un solo conduttore, dei rami a monte all'utenza in esame, da cui, viene successivamente determinata la caduta di tensione percentuale riferendola al sistema (trifase o monofase) e alla tensione nominale dell'utenza in esame.

Sono adeguatamente calcolate le cadute di tensione totali nel caso siano presenti trasformatori lungo la linea (per esempio trasformatori MT/BT o BT/BT). In tale circostanza, infatti, il calcolo della caduta

di tensione totale tiene conto sia della caduta interna nei trasformatori, sia della presenza di spine di regolazione del rapporto spire dei trasformatori stessi.

Se al termine del calcolo delle cadute di tensione alcune utenze abbiano valori superiori a quelli definiti, si ricorre ad un procedimento di ottimizzazione per far rientrare la caduta di tensione entro limiti prestabiliti (limiti dati da CEI 64-8 par. 525). Le sezioni dei cavi vengono forzate a valori superiori cercando di seguire una crescita uniforme fino a portare tutte le cadute di tensione sotto i limiti.

## Fornitura della rete

La conoscenza della fornitura della rete è necessaria per l'inizializzazione della stessa al fine di eseguire il calcolo dei guasti.

Le tipologie di fornitura possono essere:

- in bassa tensione
- in media tensione
- in alta tensione
- ad impedenza nota
- in corrente continua

I parametri trovati in questa fase servono per inizializzare il calcolo dei guasti, ossia andranno sommati ai corrispondenti parametri di guasto della utenza a valle. Noti i parametri alle sequenze nel punto di fornitura, è possibile inizializzare la rete e calcolare le correnti di cortocircuito secondo le norme CEI 11-25.

Tali correnti saranno utilizzate in fase di scelta delle protezioni per la verifica dei poteri di interruzione delle apparecchiature.

## Bassa tensione

Questa può essere utilizzata quando il circuito è alimentato alla rete di distribuzione in bassa tensione, oppure quando il circuito da dimensionare è collegato in sottoquadro ad una rete preesistente di cui si conosca la corrente di cortocircuito sul punto di consegna.

I dati richiesti sono:

- tensione concatenata di alimentazione espressa in V;
- corrente di cortocircuito trifase della rete di fornitura espressa in kA (usualmente 10 kA).
- corrente di cortocircuito monofase della rete di fornitura espressa in kA (usualmente 6 kA).

Dai primi due valori si determina l'impedenza diretta corrispondente alla corrente di cortocircuito  $I_{cctrif}$ , in mΩ:

$$Z_{cctrif} = \frac{V_2}{\sqrt{3} \cdot I_{cctrif}}$$

In base alla tabella fornita dalla norma CEI 17-5 che fornisce il  $\cos\phi_{cc}$  di cortocircuito in relazione alla corrente di cortocircuito in kA, si ha:

$50 < I_{cctrif}$	$\cos \phi_{cc} = 0.2$
$20 < I_{cctrif} \leq 50$	$\cos \phi_{cc} = 0.25$
$10 < I_{cctrif} \leq 20$	$\cos \phi_{cc} = 0.3$
$6 < I_{cctrif} \leq 10$	$\cos \phi_{cc} = 0.5$
$4.5 < I_{cctrif} \leq 6$	$\cos \phi_{cc} = 0.7$
$3 < I_{cctrif} \leq 4.5$	$\cos \phi_{cc} = 0.8$
$1.5 < I_{cctrif} \leq 3$	$\cos \phi_{cc} = 0.9$
$I_{cctrif} \leq 1.5$	$\cos \phi_{cc} = 0.95$

da questi dati si ricava la resistenza alla sequenza diretta, in mΩ:

$$R_d = Z_{cctrif} \cdot \cos \phi_{cc}$$

ed infine la relativa reattanza alla sequenza diretta, in mΩ:

$$X_d = \sqrt{Z_{cctrif}^2 - R_d^2}$$

Dalla conoscenza della corrente di guasto monofase  $I_{k1}$ , è possibile ricavare i valori dell'impedenza omopolare.

Invertendo la formula:

$$I_{k1} = \frac{\sqrt{3} \cdot V_2}{\sqrt{(2 \cdot R_d + R_0)^2 + (2 \cdot X_d + X_0)^2}}$$

con le ipotesi  $\frac{R_0}{X_0} = \frac{Z_0}{X_0} \cdot \cos \varphi_{cc}$ , cioè l'angolo delle componenti omopolari uguale a quello delle componenti dirette, si ottiene:

$$R_0 = \frac{\sqrt{3} \cdot V}{I_{k1}} \cdot \cos \varphi_{cc} - 2 \cdot R_d$$

$$X_0 = R_0 \cdot \sqrt{\frac{1}{(\cos \varphi_{cc})^2} - 1}$$

### Fattore di correzione per trasformatori, CEI 11-25 (3.3.3)

Per i trasformatori con verso di potenza positiva, a due avvolgimenti con e senza variazione sotto carico, si deve introdurre un fattore di correzione di impedenza KT tale che:

$$Z_{cctK} = K_T \cdot Z_{cct}$$

$$Z_{otK} = K_T \cdot Z_{ot}$$

$$K_T = 0,95 \cdot \frac{c_{\max}}{1 + 0,6 \cdot x_T}$$

dove

$$x_T = \frac{X_{cct}}{V_{02}^2 / P_n}$$

è la reattanza relativa del trasformatore e  $C_{\max}$  è preso dalla tabella 1 ed è relativo alla tensione lato bassa del trasformatore.

Tale fattore deve essere applicato sia alla impedenza diretta che a quelle omopolari.

Non va applicato agli autotrasformatori.

## Calcolo dei guasti

Con il calcolo dei guasti vengono determinate le correnti di cortocircuito minime e massime immediatamente a valle della protezione dell'utenza (inizio linea) e a valle dell'utenza (fondo linea).

Le condizioni in cui vengono determinate sono:

- guasto trifase (simmetrico);
- guasto bifase (disimmetrico);
- guasto bifase-neutro (disimmetrico);
- guasto bifase-terra (disimmetrico);
- guasto fase terra (disimmetrico);
- guasto fase neutro (disimmetrico).

I parametri alle sequenze di ogni utenza vengono inizializzati da quelli corrispondenti della utenza a monte che, a loro volta, inizializzano i parametri della linea a valle.

### Calcolo delle correnti massime di cortocircuito

Il calcolo è condotto nelle seguenti condizioni:

- a) tensione di alimentazione nominale valutata con fattore di tensione  $C_{\max}$ ;
- b) impedenza di guasto minima, calcolata alla temperatura di 20°C.

La resistenza diretta, del conduttore di fase e di quello di protezione, viene riportata a 20 °C, partendo dalla resistenza data dalle tabelle UNEL 35023-2012 che può essere riferita a 70 o 90 °C a seconda dell'isolante, per cui esprimendola in mΩ risulta:

$$R_{dcavo} = \frac{R_{cavo}}{1000} \cdot \frac{L_{cavo}}{1000} \cdot \left( \frac{1}{1 + (\Delta T \cdot 0.004)} \right)$$

dove  $\Delta T$  è 50 o 70 °C.

Nota poi dalle stesse tabelle la reattanza a 50 Hz, se  $f$  è la frequenza d'esercizio, risulta:

$$X_{dcavo} = \frac{X_{cavo}}{1000} \cdot \frac{L_{cavo}}{1000} \cdot \frac{f}{50}$$

possiamo sommare queste ai parametri diretti della utenza a monte ottenendo così la impedenza di guasto minima a fine utenza.

Per le utenze in condotto in sbarre, le componenti della sequenza diretta sono:

$$R_{dsbarra} = \frac{R_{sbarra}}{1000} \cdot \frac{L_{sbarra}}{1000}$$

La reattanza è invece:

$$X_{dsbarra} = \frac{X_{sbarra}}{1000} \cdot \frac{L_{sbarra}}{1000} \cdot \frac{f}{50}$$

Per le utenze con impedenza nota, le componenti della sequenza diretta sono i valori stessi di resistenza e reattanza dell'impedenza.

Per quanto riguarda i parametri alla sequenza omopolare, occorre distinguere tra conduttore di neutro e conduttore di protezione.

Per il conduttore di neutro si ottengono da quelli diretti tramite le:

$$\begin{aligned} R_{0cavoNeutro} &= R_{dcavo} + 3 \cdot R_{dcavoNeutro} \\ X_{0cavoNeutro} &= 3 \cdot X_{dcavo} \end{aligned}$$

Per il conduttore di protezione, invece, si ottiene:

$$\begin{aligned} R_{0cavoPE} &= R_{dcavo} + 3 \cdot R_{dcavoPE} \\ X_{0cavoPE} &= 3 \cdot X_{dcavo} \end{aligned}$$

dove le resistenze  $R_{dcavoNeutro}$  e  $R_{dcavoPE}$  vengono calcolate come la  $R_{dcavo}$ .

Per le utenze in condotto in sbarre, le componenti della sequenza omopolare sono distinte tra conduttore di neutro e conduttore di protezione.

Per il conduttore di neutro si ha:

$$\begin{aligned} R_{0sbarraNeutro} &= R_{dsbarra} + 3 \cdot R_{dsbarraNeutro} \\ X_{0sbarraNeutro} &= 3 \cdot X_{dsbarra} \end{aligned}$$

Per il conduttore di protezione viene utilizzato il parametro di reattanza dell'anello di guasto fornito dai costruttori:

$$\begin{aligned} R_{0sbarraPE} &= R_{dsbarra} + 3 \cdot R_{dsbarraPE} \\ X_{0sbarraPE} &= X_{dsbarra} + 3 \cdot (X_{anello\_guasto} - X_{dsbarra}) \end{aligned}$$

I parametri di ogni utenza vengono sommati con i parametri, alla stessa sequenza, della utenza a monte, espressi in mΩ:

$$\begin{aligned}
R_d &= R_{dcavo} + R_{dmonte} \\
X_d &= X_{dcavo} + X_{dmonte} \\
R_{0Neutro} &= R_{0cavoNeutro} + R_{0monteNeutro} \\
X_{0Neutro} &= X_{0cavoNeutro} + X_{0monteNeutro} \\
R_{0PE} &= R_{0cavoPE} + R_{0montePE} \\
X_{0PE} &= X_{0cavoPE} + X_{0montePE}
\end{aligned}$$

Per le utenze in condotto in sbarre basta sostituire *sbarra* a *cavo*.  
Ai valori totali vengono sommate anche le impedenze della fornitura.

Noti questi parametri vengono calcolate le impedenze (in mΩ) di guasto trifase:

$$Z_{k \min} = \sqrt{R_d^2 + X_d^2}$$

Fase neutro (se il neutro è distribuito):

$$Z_{k1Neutro \min} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot R_d + R_{0Neutro})^2 + (2 \cdot X_d + X_{0Neutro})^2}$$

Fase terra:

$$Z_{k1PE \min} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot R_d + R_{0PE})^2 + (2 \cdot X_d + X_{0PE})^2}$$

Da queste si ricavano le correnti di cortocircuito trifase  $I_{k \max}$ , fase neutro  $I_{k1Neutro \max}$ , fase terra  $I_{k1PE \max}$  e bifase  $I_{k2 \max}$  espresse in kA:

$$\begin{aligned}
I_{k \max} &= \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k \min}} \\
I_{k1Neutro \max} &= \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1Neutro \min}} \\
I_{k1PE \max} &= \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1PE \min}} \\
I_{k2 \max} &= \frac{V_n}{2 \cdot Z_{k \min}}
\end{aligned}$$

Infine dai valori delle correnti massime di guasto si ricavano i valori di cresta delle correnti (CEI 11-25 par. 9.1.1.):

$$I_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k \max}$$

$$I_{p1Neutro} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1Neutro \max}$$

$$I_{p1PE} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1PE \max}$$

$$I_{p2} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k2 \max}$$

dove:

$$\kappa \approx 1.02 + 0.98 \cdot e^{-3 \frac{R_d}{X_d}}$$

Calcolo della corrente di cresta per guasto trifase secondo la norma IEC 61363-1: Electrical installations of ships. Se richiesto,  $I_p$  può essere calcolato applicando il metodo semplificato della norma riportato al paragrafo 6.2.5 Neglecting short-circuit current decay. Esso prevede l'utilizzo di un coefficiente  $k = 1.8$  che tiene conto della massima asimmetria della corrente dopo il primo semiperiodo di guasto.

### Calcolo delle correnti minime di cortocircuito

Il calcolo delle correnti di cortocircuito minime viene condotto come descritto nella norma CEI 11-25 par 2.5 per quanto riguarda:

- la tensione nominale viene moltiplicata per il fattore di tensione di 0.95 (tab. 1 della norma CEI 11-25);
- in media e alta tensione il fattore è pari a 1;
- guasti permanenti con contributo della fornitura e dei generatori in regime di guasto permanente.

Per la temperatura dei conduttori si può scegliere tra:

- il rapporto Cenelec R064-003, per cui vengono determinate le resistenze alla temperatura limite dell'isolante in servizio ordinario del cavo;
- la norma CEI EN 60909-0, che indica le temperature alla fine del guasto.

Le temperature sono riportate in relazione al tipo di isolamento del cavo, precisamente:

Isolante	Cenelec R064-003 [°C]	C
PVC	70	
G	85	
G5/G7/G10/EPR	90	
HEPR	120	
serie L rivestito	70	
serie L nudo	105	
serie H rivestito	70	
serie H nudo	105	

Da queste è possibile calcolare le resistenze alla sequenza diretta e omopolare alla temperatura relativa all'isolamento del cavo:

$$R_{d \max} = R_d \cdot (1 + 0.004 \cdot (T_{\max} - 20))$$

$$R_{0Neutro} = R_{0Neutro} \cdot (1 + 0.004 \cdot (T_{\max} - 20))$$

$$R_{0PE} = R_{0PE} \cdot (1 + 0.004 \cdot (T_{\max} - 20))$$

Queste, sommate alle resistenze a monte, danno le resistenze minime.

Valutate le impedenze mediante le stesse espressioni delle impedenze di guasto massime, si possono calcolare le correnti di cortocircuito trifase  $I_{k1min}$  e fase terra, espresse in kA:

$$I_{kmin} = \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{kmax}}$$

$$I_{k1Neutromin} = \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1Neutromax}}$$

$$I_{k1PEmin} = \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1PEmax}}$$

$$I_{k2min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{2 \cdot Z_{kmax}}$$

### Calcolo guasti bifase-neutro e bifase-terra

Riportiamo le formule utilizzate per il calcolo dei guasti. Chiamiamo con  $Z_d$  la impedenza diretta della rete, con  $Z_i$  l'impedenza inversa, e con  $Z_0$  l'impedenza omopolare.

Nelle formule riportate in seguito,  $Z_0$  corrisponde all'impedenza omopolare fase-neutro o fase-terra.

$$I_{k2} = \left| -j \cdot V_n \cdot \frac{\dot{Z}_0 - \alpha \cdot \dot{Z}_i}{\dot{Z}_d \cdot \dot{Z}_i + \dot{Z}_d \cdot \dot{Z}_0 + \dot{Z}_i \cdot \dot{Z}_0} \right|$$

e la corrente di picco:

$$I_{p2} = k \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k2max}$$

## Scelta delle protezioni

La scelta delle protezioni viene effettuata verificando le caratteristiche elettriche nominali delle condutture ed i valori di guasto; in particolare le grandezze che vengono verificate sono:

- corrente nominale, secondo cui si è dimensionata la conduttura;
- numero poli;
- tipo di protezione;
- tensione di impiego, pari alla tensione nominale della utenza;
- potere di interruzione, il cui valore dovrà essere superiore alla massima corrente di guasto a monte dell'utenza  $I_{kmmax}$ ;
- taratura della corrente di intervento magnetico, il cui valore massimo per garantire la protezione contro i contatti indiretti (in assenza di differenziale) deve essere minore della minima corrente di guasto alla fine della linea ( $I_{magmax}$ ).

## Verifica della protezione a cortocircuito delle condutture

Secondo la norma 64-8 par.434.3 "Caratteristiche dei dispositivi di protezione contro i cortocircuiti.", le caratteristiche delle apparecchiature di protezione contro i cortocircuiti devono soddisfare a due condizioni:

- il potere di interruzione non deve essere inferiore alla corrente di cortocircuito presunta nel punto di installazione (a meno di protezioni adeguate a monte);

- la caratteristica di intervento deve essere tale da impedire che la temperatura del cavo non oltrepassi, in condizioni di guasto in un punto qualsiasi, la massima consentita.

La prima condizione viene considerata in fase di scelta delle protezioni. La seconda invece può essere tradotta nella relazione:

$$I^2 \cdot t \leq K^2 S^2$$

ossia in caso di guasto l'energia specifica sopportabile dal cavo deve essere maggiore o uguale a quella lasciata passare dalla protezione.

La norma CEI al par. 533.3 "Scelta dei dispositivi di protezioni contro i cortocircuiti" prevede pertanto un confronto tra le correnti di guasto minima (a fondo linea) e massima (inizio linea) con i punti di intersezione tra le curve. Le condizioni sono pertanto:

- Le intersezioni sono due:
  - $I_{ccmin} \geq I_{inters \ min}$  (quest'ultima riportata nella norma come  $I_a$ );
  - $I_{ccmax} \leq I_{inters \ max}$  (quest'ultima riportata nella norma come  $I_b$ ).
- L'intersezione è unica o la protezione è costituita da un fusibile:
  - $I_{ccmin} \geq I_{inters \ min}$ .
- L'intersezione è unica e la protezione comprende un magnetotermico:
  - $I_{cc \ max} \leq I_{inters \ max}$ .

Sono pertanto verificate le relazioni in corrispondenza del guasto, calcolato, minimo e massimo. Nel caso in cui le correnti di guasto escano dai limiti di esistenza della curva della protezione il controllo non viene eseguito.

#### Note:

- La rappresentazione della curva del cavo è una iperbole con asintoti  $K^2 S^2$  e la  $I_z$  dello stesso.
- La verifica della protezione a cortocircuito eseguita dal programma consiste in una verifica qualitativa, in quanto le curve vengono inserite riprendendo i dati dai grafici di catalogo e non direttamente da dati di prova; la precisione con cui vengono rappresentate è relativa.

## Verifica di selettività

E' verificata la selettività tra protezioni mediante la sovrapposizione delle curve di intervento. I dati forniti dalla sovrapposizione, oltre al grafico sono:

- Corrente  $I_a$  di intervento in corrispondenza ai massimi tempi di interruzione previsti dalla CEI 64-8: pertanto viene sempre data la corrente ai 5s (valido per le utenze di distribuzione o terminali fisse) e la corrente ad un tempo determinato tramite la tabella 41A della CEI 64.8 par 413.1.3. Fornendo una fascia di intervento delimitata da una caratteristica limite superiore e una caratteristica limite inferiore, il tempo di intervento viene dato in corrispondenza alla caratteristica limite inferiore. Tali dati sono forniti per la protezione a monte e per quella a valle;
- Tempo di intervento in corrispondenza della minima corrente di guasto alla fine dell'utenza a valle: minimo per la protezione a monte (determinato sulla caratteristica limite inferiore) e massimo per la protezione a valle (determinato sulla caratteristica limite superiore);
- Rapporto tra le correnti di intervento magnetico: delle protezioni;
- Corrente al limite di selettività: ossia il valore della corrente in corrispondenza all'intersezione tra la caratteristica limite superiore della protezione a valle e la caratteristica limite inferiore della protezione a monte (CEI 23.3 par 2.5.14).

- Selettività: viene indicato se la caratteristica della protezione a monte si colloca sopra alla caratteristica della protezione a valle (totale) o solo parzialmente (parziale a sovraccarico se l'intersezione tra le curve si ha nel tratto termico).
- Selettività cronometrica: con essa viene indicata la differenza tra i tempi di intervento delle protezioni in corrispondenza delle correnti di cortocircuito in cui è verificata.

Nelle valutazioni si deve tenere conto delle tolleranze sulle caratteristiche date dai costruttori.

Quando possibile, alla selettività grafica viene affiancata la selettività tabellare tramite i valori forniti dalle case costruttrici. I valori forniti corrispondono ai limiti di selettività in A relativi ad una coppia di protezioni poste una a monte dell'altra. La corrente di guasto minima a valle deve risultare inferiore a tale parametro per garantire la selettività.

## Riferimenti normativi

### Norme di riferimento per la Bassa tensione:

- CEI 0-21: Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti BT delle imprese distributrici di energia elettrica.
- CEI 11-20 2000 IVa Ed. Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti I e II categoria.
- CEI EN 60909-0 IIa Ed. (IEC 60909-0:2001-07): Correnti di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata. Parte 0: Calcolo delle correnti.
- IEC 60090-4 First ed. 2000-7: Correnti di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata. Parte 4: Esempi per il calcolo delle correnti di cortocircuito.
- CEI 11-28 1993 Ia Ed. (IEC 781): Guida d'applicazione per il calcolo delle correnti di cortocircuito nelle reti radiali e bassa tensione.
- CEI 17-5 VIIIa Ed. 2007: Apparecchiature a bassa tensione. Parte 2: Interruttori automatici.
- CEI 20-91 2010: Cavi elettrici con isolamento e guaina elastomerici senza alogeni non propaganti la fiamma con tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua per applicazioni in impianti fotovoltaici.
- CEI 23-3/1 Ia Ed. 2004: Interruttori automatici per la protezione dalle sovracorrenti per impianti domestici e simili.
- CEI 64-8 VIIa Ed. 2012: Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua.
- IEC 364-5-523: Wiring system. Current-carrying capacities.
- IEC 60364-5-52 IIIa Ed. 2009: Electrical Installations of Buildings - Part 5-52: Selection and Erection of Electrical Equipment - Wiring Systems.
- CEI UNEL 35023 2012: Cavi per energia isolati con gomma o con materiale termoplastico avente grado di isolamento non superiore a 4- Cadute di tensione.
- CEI UNEL 35024/1 1997: Cavi elettrici isolati con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria.
- CEI UNEL 35024/2 1997: Cavi elettrici ad isolamento minerale per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria.
- CEI UNEL 35026 2000: Cavi elettrici con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali di 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa interrata.
- CEI 17-43 IIa Ed. 2000: Metodo per la determinazione delle sovratemperature, mediante estrapolazione, per apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) non di serie (ANS).
- CEI 23-51 IIa Ed. 2004: Prescrizioni per la realizzazione, le verifiche e le prove dei quadri di

distribuzione per installazioni fisse per uso domestico e similare.

- NF C 15-100 Calcolo di impianti elettrici in bassa tensione e relative tabelle di portata e declassamento dei cavi secondo norme francesi.
- UNE 20460 Calcolo di impianti elettrici in bassa tensione e relative tabelle di portata e declassamento (UNE 20460-5-523) dei cavi secondo regolamento spagnolo.
- British Standard BS 7671:2008: Requirements for Electrical Installations;
- ABNT NBR 5410, Segunda edição 2004: Instalações elétricas de baixa tensão;

### **Norme di riferimento per la Media tensione**

- CEI 0-16: Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica.
- CEI 99-2 (CEI EN 61936-1): Impianti con tensione superiore a 1 kV in c.a.
- CEI 11-17 IIIa Ed. 2006: Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica. Linee in cavo.
- CEI-UNEL 35027 IIa Ed. 2009: Cavi di energia per tensione nominale U da 1 kV a 30 kV.
- CEI 11-35 IIa Ed. 2004: Guida all'esecuzione delle cabine elettriche d'utente.
- CEI 17-1 VIa Ed. 2005: Apparecchiatura ad alta tensione. Parte 100: Interruttori a corrente alternata ad alta tensione.
- 17-9/1 Interruttori di manovra e interruttori di manovra-sezionatori per tensioni nominali superiori a 1kV e inferiori a 52 kV.
- IEC 60502-2 IIa Ed. 2005-03: Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV up to 30 kV – Part 2.
- IEC 61892-4 Ia Ed. 2007-06: Mobile and fixed offshore units – Electrical installations. Part 4: Cables.



## Dati salienti utenza

Commissa	Ed_20_fotovoltaico
Descrizione	
Cliente	
Luogo	
Responsabile	
Data	13/07/2017
Alimentazioni	
Tipo di quadro	
Grado di protezione	
Materiali usati	
Riferimenti	
Parametri	<Default>
Operatore	

# Dati salienti utenza

Data: 13/07/2017

Responsabile:

Sigla utenza	Sist.	Circuito	Pn [kW]	Coef.	Pd [kW]	Cos Fi	I <sub>km max</sub> [kA]	Formazione	Lc [m]	Vn [V]	CdtT Ib [%]	Ib [A]	In [A]	Iz [A]
<b>+Z.O_GEN_E20</b>														
U1	TN-S	3F+N (Distr.)	24	1	24	0,9	16	5G4	30	400	2,87	38,5	40	40

# Dati salienti utenza

Data: 13/07/2017

Responsabile:

Sigla utenza	Sist.	Circuito	Pn [kW]	Coef.	Pd [kW]	Cos Fi	I <sub>km max</sub> [kA]	Formazione	Lc [m]	Vn [V]	CdtT Ib [%]	Ib [A]	In [A]	Iz [A]
<b>+ Z.O. FOTOVOLTAICO</b>														
U3	TN-S	3F+N (Distr.)	24	1	24	0,9	1,51		0	400	2,87	38,5	40	n.d.
U4	TN-S	3F+N (Term.)	0,003	1	0,003	0,9	1,51		0	400	2,87	0,005	19,3	n.d.
U5	TN-S	3F+N (Term.)	8	1	8	0,9	1,51	5G4	10	400	3,19	12,8	16	42
U6	TN-S	3F+N (Term.)	8	1	8	0,9	1,51	5G4	10	400	3,19	12,8	16	42
U7	TN-S	3F+N (Term.)	8	1	8	0,9	1,51	5G4	10	400	3,19	12,8	16	42

# Dati salienti utenza

Data: 13/07/2017

Responsabile:

Sigla utenza	Sist.	Circuito	Pn [kW]	Coef.	Pd [kW]	Cos Fi	I <sub>km max</sub> [kA]	Formazione	Lc [m]	Vn [V]	CdtT Ib [%]	Ib [A]	In [A]	Iz [A]
<b>+Z.O_2P</b>														
U9	TN-S	L3-N (Term.)	0,18	1	0,18	0,9	2,19	3G2.5	150	231	1,08	0,866	16	33
U10	TN-S	L2-N (Term.)	0,18	1	0,18	0,9	2,19	3G2.5	150	231	1,06	0,866	16	33

## Legenda

Pn: potenza nominale dei carichi a valle dell'utenza.

Coef.: coefficiente di contemporaneità (distribuzioni) o di utilizzo (terminali)

Pd: potenza di dimensionamento dell'utenza.

I<sub>km max</sub>: corrente di guasto massima a monte dell'utenza, serve per dimensionare il potere d'interruzione della protezione

Lc: lunghezza cavo [m]

CdtT Ib: caduta di tensione totale alla corrente Ib



## Verifiche

Commessa	Ed_20_fotovoltaico
Descrizione	
Cliente	
Luogo	
Responsabile	
Data	13/07/2017
Alimentazioni	
Tipo di quadro	
Grado di protezione	
Materiali usati	
Riferimenti	
Parametri	<Default>
Operatore	



# Verifiche

Data: 13/07/2017

Responsabile:

Sigla utenza	Coord. $I_b < I_n < I_z$	PdI	$K^2 S^2 > I^2 t$	Sg. mag. $< I_{magmax}$	Contatti ind.	CdtT $I_b$
+Z.O_GEN_E20						
U1	38,5 $\leq$ 40 $\leq$ 40 A	20 $>$ 16 kA	Verificato	Prot. contatti indiretti	Verificato	2,87 $\leq$ 4 %

# Verifiche

Data: 13/07/2017

Responsabile:

Sigla utenza	Coord. $I_b < I_n < I_z$	PdI	$K^2 S^2 > I^2 t$	Sg. mag. $< I_{magmax}$	Contatti ind.	CdtT $I_b$
<b>+Z.O_FOTOVOLTAICO</b>						
U3	$38,5 \leq 40 \text{ A } (I_b < I_n)$	$20 \geq 1,51 \text{ kA}$	n.d.	Prot. contatti indiretti	Verificato	$2,87 \leq 4 \%$
U4	$0,005 \leq 19,3 \text{ A } (I_b < I_n)$	$50 \geq 1,51 \text{ kA}$	n.d.		Verificato	$2,87 \leq 4 \%$
U5	$12,8 \leq 16 \leq 42 \text{ A}$	$25 \geq 1,51 \text{ kA}$	Verificato	$160 < 287,9 \text{ A}$	Verificato	$3,19 \leq 4 \%$
U6	$12,8 \leq 16 \leq 42 \text{ A}$	$25 \geq 1,51 \text{ kA}$	Verificato	$160 < 287,9 \text{ A}$	Verificato	$3,19 \leq 4 \%$
U7	$12,8 \leq 16 \leq 42 \text{ A}$	$25 \geq 1,51 \text{ kA}$	Verificato	$160 < 287,9 \text{ A}$	Verificato	$3,19 \leq 4 \%$

# Verifiche

Data: 13/07/2017

Responsabile:

Sigla utenza	Coord. $I_b < I_n < I_z$	PdI	$K^2 S^2 > I^2 t$	Sg. mag. $< I_{magmax}$	Contatti ind.	CdtT $I_b$
<b>+Z.O._2P</b>						
U9	0,866 $\leq 16 \leq 33$ A	7,5 $\geq 2,19$ kA	Verificato	Prot. contatti indiretti	Verificato	1,08 $\leq 4$ %
U10	0,866 $\leq 16 \leq 33$ A	7,5 $\geq 2,19$ kA	Verificato	Prot. contatti indiretti	Verificato	1,06 $\leq 4$ %

## Legenda

PdI: potere di interruzione o di cortocircuito della protezione

$I_{magmax}$ : corrente magnetica massima pari alla corrente di guasto minima

$K^2 S^2 > I^2 t$ : verifica a cortocircuito della linea ("n.d." indica verifica non gestita)

Temperature di riferimento per il calcolo delle correnti minime di cortocircuito secondo: (CEI EN 60909-0)

CdtT  $I_b$ : caduta di tensione totale alla corrente  $I_b$