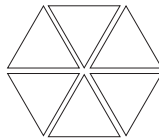




POLITECNICO
MILANO 1863

Scuola di Architettura, Urbanistica e Ingegneria delle Costruzioni
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile - Architettura

Anno Accademico 2022 - 2023



HEXALOOP

STUDIO E APPLICAZIONE DI FACCIATA ADATTIVA PER UNA NUOVA ARENA
POLIFUNZIONALE NEL XVIII ARRONDISSEMENT A PARIGI

Tesi di:

Alessandra Annibale	921882
Emily Chiesa	908437
Giulia Prelli	921788

Relatore:

Gabriele Masera

Correlatori:

Andrea Kindinis
Davide Allegri
Giulio Zani

Ringraziamenti

Questo lavoro di tesi ci ha dato la possibilità di poter sperimentare e acquisire nuove conoscenze, sviluppando la nostra passione per la ricerca accademica e la sperimentazione di nuove tecnologie. Il percorso ci ha spinto a vivere nuove esperienze anche lontane da casa, ma che ci hanno arricchito come persone e future professioniste.

Giunte infine al termine, vorremmo sinceramente ringraziare tutte le persone che ci hanno accompagnato in questo vero e proprio viaggio.

Al nostro relatore, il prof. Gabriele Masera, che ci ha guidato in questo percorso dandoci un costante supporto e preziosi suggerimenti. Per averci spronato a indagare nuovi aspetti e a saper cambiare punto di vista, al fine di migliorare il nostro lavoro e trovare nuove soluzioni.

Al prof. Andrea Kindinis, che ci ha accolto a Parigi offrendoci una preziosa opportunità di crescita. Per averci fatto avvicinare al mondo della ricerca accademica. Per averci spronato a migliorare con gentilezza e disponibilità.

All'ing. Giulio Zani, che ci ha seguito nella progettazione della struttura e nelle successive fasi di analisi e verifica.

Al prof. Davide Allegri, che ci ha seguito nella progettazione dell'Arena sportiva, dandoci suggerimenti e spunti di riflessione.

Al tecnico di laboratorio Pascal Failla, che con pazienza e spirito di iniziativa ci ha dato l'occasione di poter realizzare il prototipo della facciata.

All'Università ESTP e a tutti gli insegnanti e collaboratori che ci hanno accolto e offerto la loro disponibilità.

Ai nostri compagni, che hanno reso indimenticabili questi anni universitari regalandoci momenti di crescita, supporto e spensieratezza.

Alle nostre famiglie e persone care che ci hanno accompagnato e supportato nel nostro percorso universitario, dandoci l'occasione di perseguire i nostri sogni e di diventare persone migliori.

Sinossi

Parigi è stata scelta per ospitare i Giochi Olimpici e Paralimpici dal 26 luglio all'11 agosto 2024. Questo evento storico per la capitale francese è un'occasione per riqualificare la periferia nord del 18° distretto, caratterizzata da gravi problemi sociali, attraverso la costruzione di una nuova arena polifunzionale. Un punto chiave nella pianificazione dei Giochi Olimpici è l'integrazione dei nuovi edifici nel ciclo di vita del quartiere e l'ottimizzazione di quelli esistenti: per questo motivo, dopo l'evento, l'edificio ospiterà spettacoli, concerti ed eventi sportivi.

Il progetto si propone di indagare la sinergia fra le varie componenti, dal macro al micro: a partire dalla ricucitura del quartiere al tessuto urbano della città di Parigi, entrando nelle dinamiche reali (territoriali, sociali, economiche) dell'intervento di rigenerazione urbana, nell'interazione fra gli stakeholders e il progetto, e come viene integrato nella vita quotidiana.

Passando poi alla scala dell'edificio, la progettazione architettonica e strutturale della nuova arena polifunzionale viene guidata dai target normativi e di calcolo; le scelte progettuali vanno a ripercuotersi sulla definizione di un sistema di facciata che permetta il benessere e il comfort degli utenti che frequentano l'ambiente. In tal senso, le facciate adattive possono modificare il loro comportamento in base alle fluttuazioni climatiche a breve termine, ai cicli diurni o ai modelli stagionali.

Il comportamento dell'ambiente interno e il comfort globale di un edificio sono strettamente legati dall'involucro che li racchiude: le facciate tradizionali si comportano in modo statico nei confronti delle condizioni climatiche esterne e interne. Al contrario, quella che si conforma in questa ricerca, risponde ai requisiti degli spazi interni e si adatta alle condizioni climatiche esterne, essendo provvista di vari layer di funzionamento, i quali integrano un sistema di celle fotovoltaiche ad alte prestazioni con una facciata cinetica.

L'edificio oggetto di studio ha un elevato numero di utenti e diverse aree di utilizzo al suo interno, per cui è necessaria una maggiore flessibilità della facciata. In quest'ottica, la caratterizzazione architettonica dell'involucro adattivo contribuisce a rendere l'edificio un nuovo landmark. Tutto ciò è possibile attraverso un processo iterativo e parallelo nella progettazione dell'edificio e dell'involucro, che ha portato alla sua definizione tecnologica e architettonica, in un'ottica di interazione ed ottimizzazione di essi e sfruttando la modellazione parametrica.

Abstract

Paris has been chosen to host the Olympic and Paralympic Games from 26 July to 11 August 2024. This historic event for the French capital is an opportunity to redevelop the northern suburbs of the 18th district, characterised by serious social problems, through the construction of a new multifunctional arena. A key point in the planning of the Olympic Games is the integration of the new buildings into the life cycle of the district and the optimisation of the existing ones: for this reason, after the event, the building will host shows, concerts and sports events.

The project proposes to investigate the synergy between the various components, from the macro to the micro: starting from the stitching up of the neighbourhood to the urban fabric of the city of Paris, entering into the real dynamics (territorial, social, economic) of the urban regeneration intervention, the interaction between the stakeholders and the project, and how it is integrated into daily life.

Moving on to the scale of the building, the architectural and structural design of the new multi-purpose arena is guided by the regulatory and calculation targets; the design choices affect the definition of a façade system that allows for the well-being and comfort of the users who frequent the environment. In this sense, adaptive façades can change their behaviour according to short-term climatic fluctuations, diurnal cycles or seasonal patterns.

The behaviour of the internal environment and the overall comfort of a building are closely linked by the envelope that encloses them: traditional façades behave statically towards external and internal climatic conditions. On the contrary, the façade that conforms in this research, responds to the requirements of the interior spaces and adapts to the external climatic conditions, being equipped with various functioning layers, which integrate a high-performance photovoltaic cell system with a kinetic façade.

The building under study has a large number of users and different areas of use within it, so a more flexible façade is required. With this in mind, the architectural characterisation of the adaptive envelope contributes to making the building a new landmark. All this is possible through an iterative and parallel process in the design of the building and the envelope, which has led to its technological and architectural definition, with a view to the interaction and optimisation of them and taking advantage of parametric modelling.

INDICE

<i>Obiettivi della tesi</i>	02
<i>Metodologia</i>	03

I

IL CONTESTO

<i>Premessa</i>	05
-----------------	----

01 INQUADRAMENTO TERRITORIALE 06

1.1. STRUTTURA DELLA CITTÀ 06

1.1.1. ÎLE-DE-FRANCE 06

1.1.2. PARIGI 07

1.1.3. RETI DELLA MOBILITÀ 08

1.1.4. SPAZI PUBBLICI 09

1.2. IL CICLO DELL'ACQUA E LA CITTÀ 10

1.2.1. PARISPLUIE 11

1.2.2. INFILTRAZIONE NEL SOTTOSUOLO 12

1.2.3. LA PERMEABILITÀ DEL SUOLO 15

1.3. ANALISI STORICA 18

1.4. TRASFORMAZIONI URBANE A PARIGI 20

1.4.1. ZAC 20

02 GIOCHI OLIMPICI 2024 26

2.1. INTRODUZIONE 26

2.2. VILLAGGIO OLIMPICO 26

2.3. SITI DELLA COMPETIZIONE 27

2.3.1. STRUTTURE CHE NECESSITANO DI LAVORI PERMANENTI	27
2.3.2. STRUTTURE CHE NON NECESSITANO DI LAVORI PERMANENTI	28
2.3.3. LUOGHI ICONICI	29

03 XVIII ARRODISSEMENT 30

3.1. TESSUTO URBANO 30

3.2. CENNI STORICI 32

3.3. SPORT, VERDE E MOBILITÀ LENTA 34

3.3.1. SPORT	34
3.3.2. VERDE	35
3.3.3. CICLABILE	36

3.4. MOBILITÀ, SERVIZI E CITTÀ DEI 15 MINUTI 37

3.4.1. TRASPORTI	37
3.4.2. SERVIZI	38
3.4.3. STRUTTURE RICETTIVE	39
3.4.4. CENTRI DI EDUCAZIONE	39
3.4.5. SPAZI COMMERCIALI	39

3.5. DEMOGRAFIA 40

3.5.1. ETÀ E POPOLAZIONE ATTIVA	40
3.5.2. REDDITO, LAVORO E SALARI	40

3.6. RISORSE 44

3.6.1. SPORT	44
3.6.2. VERDE	44
3.6.3. TRASPORTI	44
3.6.4. GRAND PARIS EXPRESS	45

3.7. LIMITI 46

3.7.1. VINCOLI FISICI	46
3.7.2. DISPOSIZIONI PARTICOLARI	47

04 GARE DES MINES - FILLETTES 48

4.1. INTRODUZIONE 48

4.2. IL BANDO DI CONCORSO	50
4.2.1. L'AMBITO	50
4.2.2. LA STORIA	50
4.2.3. GLI OBIETTIVI DELL'OPERAZIONE	51
4.2.4. PROGETTO PER LA ZAC GARE DES MINES-FILLETES	52
4.3. ANALISI DELL'AREA DI PROGETTO	55
4.3.1. PIANI DI ZONA - ZAC	55
4.3.2. LINEE GUIDA PER LO SVILUPPO	57
4.4. STATO DI FATTO	60
4.5. STATO AMBIENTALE DELL'AREA	62
4.5.1. CLIMA E LCZ	62
4.5.2. INQUINAMENTO E ISOLE DI CALORE	62
4.5.3. QUALITÀ DELL'ARIA	64
4.5.4. ANALISI ACUSTICHE	66
4.5.5. ENERGIE RINNOVABILI	67

III

PROGETTAZIONE DI UN NUOVO DISTRETTO SPORTIVO

Premessa	71
01 SCENARIO BUILDING	72
1.1. INTRODUZIONE	72
1.2. METODOLOGIA	72
1.3. ANALISI SWOT	74
1.4. PRESENTAZIONE DEGLI SCENARI	76
1.4.1. SCENARIO 0: ASSENZA DI PROGETTO	76
1.4.2. SCENARIO 1: BANDO DI PROGETTO	78
1.4.3. SCENARIO 2: VARIANTE DI PROGETTO	82

1.5. STEEP ANALYSIS: SCENARIO 1	91
1.6. STEEP ANALYSIS: SCENARIO 2	94
1.7. OSA: SCENARIO 1	98
1.8. OSA: SCENARIO 2	100
1.9. WILSON MATRIX: SCENARIO 1	104
1.10. WILSON MATRIX: SCENARIO 2	106
1.11. MATRICE D'IMPATTO: SCENARIO 1	108
1.11.1. WORKFLOW	110
1.12. MATRICE D'IMPATTO: SCENARIO 2	112
1.12.1. WORKFLOW	116
1.13. CONFRONTO TRA IMPATTO DEGLI SCENARI	118
1.13.1. MISURE DI MITIGAZIONE E COMPENSAZIONE	118
1.13.2. IPOTESI MIGLIORATIVE COMUNI AGLI SCENARI	119
1.13.3. DIFFERENZE FRA LE MISURE DI MITIGAZIONE	119
1.13.4. RISULTATI	119
1.14. CONCLUSIONI	120
1.15. ANALISI DEGLI STAKEHOLDERS E GRADO DI ACCETTAZIONE	121
1.15.1. SOCIAL CIRCLE METHODOLOGY	122
1.15.2. COMMUNITY IMPACT EVALUATION	124
1.16. CICLO DI VITA DI UN QUARTIERE	126
1.16.1. PROCESSO	126
1.16.2. SVILUPPI	128
02 URBAN MASTERPLAN	130
2.1. INTRODUZIONE	130
2.1.1. CONCETTO DI POLIFUNZIONALITÀ	130
2.2. IL PROCESSO IDEATIVO	131

2.2.1. I CINQUE CERCHI OLIMPICI	131
2.2.2. ALTIMETRIA AREA	132
2.2.3. COLLEGAMENTI	132
2.3. MIGLIORAMENTO DELLA PERMEABILITÀ DEL SUOLO	133
2.3.1. GLI EFFETTI SULLA VEGETAZIONE	133
2.3.2. L'ACQUA E GLI EDIFICI	134
2.3.4. ATTUAZIONE DELLE STRATEGIE	136
2.4. FASI PROGETTUALI E ACCESSIBILITÀ	138

III

ARCHITETTONICO

<i>Premessa</i>	145
-----------------	-----

01 EDILIZIA SPORTIVA 146

1.1. STORIA E NASCITA DELLE INFRASTRUTTURE SPORTIVE	146
1.2. IMPIANTI ODIERNI	148
1.2.1. CONFRONTO FRA I PARADIGMI EUROPEI	149

02 NORMATIVA DI RIFERIMENTO 154

2.1. INDICAZIONI DEL COMITATO OLIMPICO NAZIONALE	154
2.1.1. ORGANIZZAZIONE DEGLI SPAZI	154
2.1.2. DISTANZE DA PERCORRERE	156
2.1.3. INFORMAZIONI SULLE SEDUTE	156
2.2. SPAZI RISERVATI AGLI SPETTATORI	157
2.2.1. CALCOLO POSTI NEL PARTERRE	157
2.2.2. CALCOLO POSTI NEGLI ANELLI	158
2.2.3. PROGETTAZIONE SPALTI	160
2.3. ANTINCENDIO	162
2.3.1. ERP	162
2.3.2. IMPIANTI SPORTIVI COPERTI	173

2.3.3. PARCHEGGI COPERTI	174
2.3.4. RISTORANTI	176
2.3.5. BIBLIOTECHE, CENTRI DI DOCUMENTAZIONE E ARCHIVI	177
2.3.6. UFFICI	177
2.3.7. LOCALI PER UDIENZE, CONVEGNI E RIUNIONI	178
2.3.8. TIPOLOGIE E USI DI ESTINTORI	180
2.4. ACCESSIBILITÀ	181
2.4.1. RAMPE ESTERNE	181
2.4.2. PARCHEGGI	182
2.4.3. CIRCOLAZIONE ORIZZONTALE E VERTICALE INTERNA	182
2.4.4. PORTE, CANCELLI E PORTELLI	183
2.4.5. DISPOSIZIONI SANITARIE	183
2.5. ACUSTICA	184
2.5.1. GRANDI SALE POLIFUNZIONALI	184
2.5.2. UFFICI	187
2.6. ILLUMINAZIONE	188
2.6.1. IMPIANTI SPORTIVI	188
2.7. ENERGETICO	190
2.7.1. RT2012	190
2.7.2. RE2020	201
2.7.3. RISULTATI	207
03 ANALISI CLIMATICHE	216
3.1. RADIAZIONE SOLARE INCIDENTE	216
3.1.1. PERCORSO SOLARE E RADIAZIONE MEDIA MENSILE	216
3.2. RAPPORTI PIENI E VUOTI	218
3.2.1. VALUTAZIONI SUPERFICI OPACHE E TRASPARENTI	218
04 PROGETTO ARCHITETTONICO	222
4.1. COMPOSIZIONE VOLUMETRICA	222
4.2. PROGETTAZIONE DEGLI SPAZI	223

IV

STRUTTURALE

Premessa		235
01	BLOCCO OVEST	238
<hr/>		
1.1. ANALISI DEI CARICHI		238
1.1.1. CARICO PERMANENTE NON STRUTTURALE G2		238
1.1.2. CARICHI VARIABILI		241
1.1.3. CARICO PERMANENTE STRUTTURALE G1		242
1.2. ANALISI DI CALCOLO		245
1.2.1. COMBINAZIONI DI CARICO		245
1.2.2. RIEPILOGO COMBINAZIONI DI CARICO		246
1.3. TRAVE SECONDARIA		247
1.3.1. TRAVE SECONDARIA – COPERTURA		247
1.3.2. TRAVE SECONDARIA – INTERPIANO		251
1.4. TRAVE PRIMARIA		256
1.4.1. TRAVE PRIMARIA – COPERTURA		256
1.4.2. TRAVE PRIMARIA – INTERPIANO		261
1.5. PILASTRO		266
1.5.1. AZIONI DI COMPRESSIONE AGENTI PER PIANO		266
1.5.2. VERIFICA DI STABILITÀ		266
1.6. AZIONE DEL VENTO		269
1.6.1. CLASSIFICAZIONE DEL SITO		269
1.6.2. VELOCITÀ DI RIFERIMENTO		270
1.6.3. PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO		271
1.6.4. AZIONI STATICHE EQUIVALENTI		271
1.6.5. CALCOLO DELLA PRESSIONE GLOBALE		273
1.6.6. CALCOLO DELLE FORZE RISULTANTI		274

02 BLOCCO EST 276

2.1. ANALISI DEI CARICHI	276
2.1.1. CARICO PERMANENTE NON STRUTTURALE G2	276
2.1.2. CARICHI VARIABILI	276
2.1.3. CARICO PERMANENTE STRUTTURALE G1	277
2.2. ANALISI DI CALCOLO	280
2.2.1. COMBINAZIONI DI CARICO	280
2.3. TRAVE SECONDARIA	282
2.3.1. TRAVE SECONDARIA - COPERTURA	282
2.3.2. TRAVE SECONDARIA – INTERPIANO	283
2.4. TRAVE PRIMARIA	286
2.4.1. TRAVE PRIMARIA - COPERTURA	286
2.4.2. TRAVE PRIMARIA - INTERPIANO	288
2.5. PILASTRO	291
2.5.1. AZIONI DI COMPRESSIONE AGENTI PER PIANO	291
2.5.2. VERIFICA DI STABILITÀ	291

03 BLOCCO NORD 294

3.1. ANALISI DEI CARICHI	294
3.1.1. CARICO PERMANENTE NON STRUTTURALE G2	294
3.1.2. CARICHI VARIABILI	294
3.1.3. CARICO PERMANENTE STRUTTURALE G1	295
3.2. ANALISI DI CALCOLO	297
3.2.1. COMBINAZIONI DI CARICO	297
3.3. TRAVE SECONDARIA	299
3.3.1. TRAVE SECONDARIA - COPERTURA	299
3.3.2. TRAVE SECONDARIA – INTERPIANO	300
3.4. TRAVE PRIMARIA	303
3.4.1. TRAVE PRIMARIA - COPERTURA	303
3.4.2. TRAVE PRIMARIA - INTERPIANO	305

3.5. PILASTRO	308
3.5.1. AZIONI DI COMPRESSIONE AGENTI PER PIANO	308
3.5.2. VERIFICA DI STABILITÀ	308

04 BLOCCO SPORTIVO **312**

4.1. SPALTI	312
4.1.1. GRADONI	312
4.1.2. TRAVI SAGOMATE	312
4.2. COPERTURA	314
4.2.1. PROGETTAZIONE	314
4.2.2. ANALISI 3D	314

05 INTERRATO **318**

5.1. PILASTRO	318
5.1.1. PREDIMENSIONAMENTO	318
5.1.2. DIMENSIONAMENTO DELLA SEZIONE	319
5.1.3. DIMENSIONAMENTO ARMATURA	319

V TECNOLOGICO

Premessa	323
-----------------	------------

01 SOLUZIONI TECNOLOGICHE **324**

1.1. LOGICA COSTRUTTIVA E SCELTA DEI MATERIALI	324
1.1.1. CHIUSURE ESTERNE	324
1.1.2. PARTIZIONI INTERNE	326
1.1.3. SVILUPPO TECNOLOGICO	327

02 SISTEMA FOTOVOLTAICO **328**

2.1. PROGETTO DELL'IMPIANTO	328
------------------------------------	------------

2.1.1. VALUTAZIONE DELLA RADIAZIONE SOLARE INCIDENTE	328
2.1.2. SCELTA DELLA TIPOLOGIA DI PANNELLO	329
2.1.3. POSIZIONAMENTO E NUMERO DEI PANNELLI	329
2.2. CALCOLO DELL'ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA	330

VI

FACCIATA ADATTIVA

<i>Premessa</i>	333
-----------------	------------

01 INVOLUCRI ADATTIVI 334

1.1. NASCITA DEI SISTEMI ADATTIVI DI FACCIATA	334
1.1.1. EVOLUZIONE DEL CONCETTO	334
1.1.2. MERCATO ATTUALE E STANDARD NORMATIVI	335
1.2. TIPOLOGIE DI FACCIATA E CLASSIFICAZIONE	337
1.2.1. REQUISITI E FABBISOGNI	337
1.2.2. TECNOLOGIE ADATTIVE	338
1.2.3. OVERVIEW TECNOLOGIE ADATTIVE	342
1.2.4. CAMBIAMENTO DI CONFIGURAZIONE	344
1.2.5. MODALITÀ DI CONTROLLO	348
1.2.6. OVERVIEW CONFIGURAZIONI	350
1.2.7. OVERVIEW FACCIATA ADATTIVA	351

02 CONCEPT STUDIO DI FACCIATA 352

2.1. IDEAZIONE DEL SISTEMA	352
2.1.1. SELEZIONE DELLO SPAZIO D'APPLICAZIONE	352
2.1.2. ISPIRAZIONE E BIOMIMETICA	354
2.2. MOVIMENTAZIONE E CINETICA	356
2.2.1. PROGETTAZIONE	356

2.2.2. MECCANISMO DI FUNZIONAMENTO	357
2.3. MODELLAZIONE PARAMETRICA DELL'ELEMENTO	358
2.3.1. PROCESSO	358
03 MATERIALI E TECNOLOGIA	360
3.1. BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAIC (BIPV)	360
3.1.1. CLASSIFICAZIONE BIPV	361
3.1.2. COMPONENTI DEL SISTEMA BIPV	362
3.2. CELLE FOTOVOLTAICHE	363
3.2.1. PRIMA GENERAZIONE	363
3.2.2. SECONDA GENERAZIONE	363
3.2.3. TERZA GENERAZIONE	363
3.3. CIGS	364
3.3.1. COMPONENTI CIGS	364
3.4. IMPIANTI FOTOVOLTAICI A CONCENTRAZIONE	365
3.4.1. SISTEMI AD ALTA CONCENTRAZIONE ($C > 100\times$)	366
3.4.2. SISTEMI A MEDIA CONCENTRAZIONE ($10\times < C < 100\times$)	366
3.4.3. SISTEMI A BASSA CONCENTRAZIONE ($C < 10\times$)	367
3.5. CONCENTRATORI SOLARI LUMINESCENTI (LSC)	367
3.5.1. COMPONENTI DEL SISTEMA E FUNZIONAMENTO	368
3.5.2. TIPOLOGIE DI LUMINOFORI	369
3.5.3. GUIDA D'ONDA	372
3.5.4. TIPOLOGIE DI LSC PLANARI	373
3.5.5. PROBLEMATICHE E OTTIMIZZAZIONE DEL SISTEMA	374
3.5.6. PRODUZIONE DI ENERGIA	378
3.5.7. GENERAZIONE DI CALORE	381
3.5.8. EFFETTI SULL'ILLUMINAMENTO	382
3.5.9. SOSTENIBILITÀ	383
3.5.10. OVERVIEW CELLE FOTOVOLTAICHE	386
3.5.11. OVERVIEW TIPOLOGIE DI LUMINOFORI	386
3.5.12. OVERVIEW MATERIALE DELLA GUIDA D'ONDA	386
3.6. COMBINAZIONE TECNOLOGIE CIGS E LSC	387
3.7. INTEGRAZIONE CON SMART WINDOW	387

3.7.1. LIMITI DEL SISTEMA	389
3.7.8. COLLABORAZIONE CON SISTEMA CINETICO	389

04 STUDIO ILLUMINOTECNICO **390**

4.1. LUCE DIURNA	390
4.1.1. GRANDEZZE ILLUMINOTECNICHE PRINCIPALI	391
4.1.2. DEFINIZIONE DEI KPI E VALORI DI SOGLIA	391
4.2. CASO STUDIO SEMPLIFICATO	393
4.2.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE	393
4.2.2. MATERIALI	393
4.2.3. MODELLAZIONE	394
4.2.4. AMBIENTE DI ANALISI	394
4.2.5. TIPOLOGIE DI ANALISI	394
4.2.6. VALUTAZIONE DELLO STATO DI FATTO	395
4.2.7. DEFINIZIONE DELLE CONFIGURAZIONI DI PROGETTO	397
4.2.8. STEP DI ANALISI	397
4.2.9. ELABORAZIONE DEL CRONOPROGRAMMA	402
4.3. CASO STUDIO COMPLESSO	403
4.3.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE	403
4.3.2. MATERIALI	403
4.3.3. MODELLAZIONE	404
4.3.4. AMBIENTE DI ANALISI	404
4.3.5. TIPOLOGIE DI ANALISI	404
4.3.6. VALUTAZIONE DELLO STATO DI FATTO	404
4.3.7. STEP DI ANALISI	408
4.3.8. ELABORAZIONE DEL CRONOPROGRAMMA	420
4.4. CONCLUSIONI	422
4.5. PROGRAMMAZIONE ATTUATORE DI MOVIMENTO	424
4.5.1. SCRITTURA DEL PROGRAMMA	424
4.5.2. LOGICA DI LAVORO	424
4.5.3. RISULTATI	426
4.6. OVERVIEW DEL SISTEMA E COMPONENTI	427

05	PRODUCIBILITÀ DI ENERGIA	428
5.1.	FABBISOGNO DI ENERGIA	428
5.1.1.	SPAZI DI LAVORO TIPICI NEGLI UFFICI	429
5.1.2.	CALCOLO FABBISOGNI ELETTRICI	429
5.2.	RADIAZIONE SOLARE INCIDENTE	430
5.2.1.	UTILIZZO DEL CRONOPROGRAMMA	431
5.2.2.	AREA CAPTANTE	431
5.2.3.	PERDITE INTERNE AI MODULI LSC	432
5.3.	MODULI CIGS	432
5.3.1.	CARATTERISTICHE TECNICHE	432
5.3.2.	ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA	432
5.4.	VALUTAZIONE RISULTATI OTTENUTI	433
5.4.1.	ESTENSIONE AREA CAPTANTE	433
06	PROTOTIPAZIONE	434
6.1.	DIMENSIONAMENTO E PROGETTAZIONE	434
6.1.1.	RESISTENZA AL VENTO	435
6.2.	PROVE EFFETTUATE	437
6.2.1.	TEST CON LUCE ARTIFICIALE	438
6.2.2.	TEST CON LUCE SOLARE	438
6.2.3.	CONSIDERAZIONI FISICHE PER LE MISURAZIONI	439
07	MANUTENZIONE DELL'INVOLUCRO	442
7.1.	ASPETTI GENERALI	442
7.2.	STRATEGIE MANUTENTIVE E PIANO DI MANUTENZIONE	443
7.3.	MANUTENZIONE DI ELEMENTI MOTORIZZATI	444
7.4.	TECNICHE E MODALITÀ DI INTERVENTO	444
7.4.1.	MONITORAGGIO	444
7.4.2.	PULIZIA	445

7.5. DIFFERENZIAMENTO DEI SISTEMI DI PULIZIA A SECONDA DEI MATERIALI COSTITUENTI LA FACCIATA ADATTIVA DI PROGETTO 445

7.5.1. VETRO	445
7.5.2. ALLUMINIO ANODIZZATO	446
7.5.3. ACCIAIO INOSSIDABILE	446
7.5.4. SCHERMATURA IN PTFE	446
7.5.5. IMPIANTO FOTOVOLTAICO	446
7.5.6. SISTEMI DI PULIZIA E MANUTENZIONE IN ALTEZZA	447

Conclusioni	448
--------------------	------------

Bibliografia	XVIII
---------------------	--------------

Sitografia	XXV
-------------------	------------

Indice delle figure	XXVI
----------------------------	-------------

Book degli allegati	
----------------------------	--

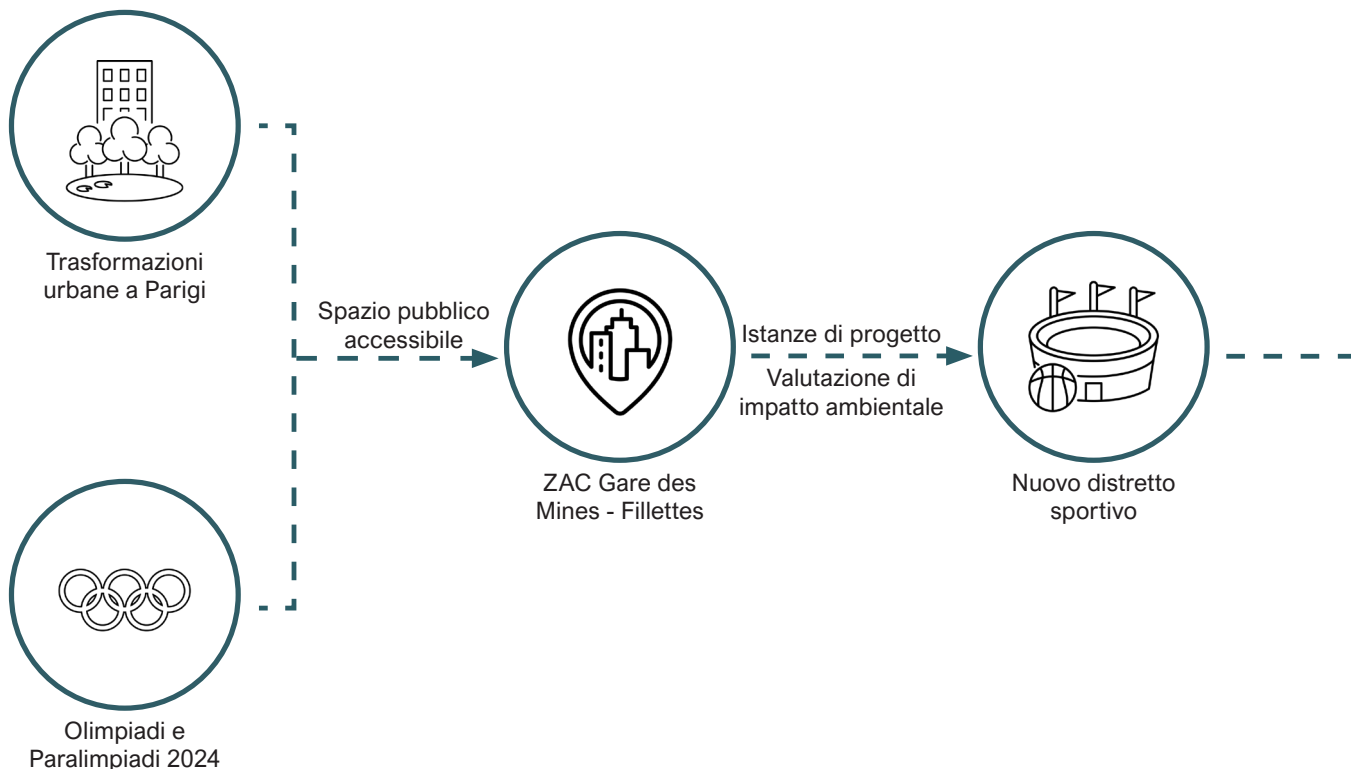
Obiettivi della tesi

L'avvento dei Giochi Olimpici 2024 a Parigi apre nuove possibilità di rinascita per un quartiere periferico nel XVIII arrondissement, con la realizzazione di una nuova arena polifunzionale. Il pensiero alla base è quello di dare una spinta a questa realtà e che i suoi benefici permangano anche dopo il megaevento e durante il suo svolgimento, accessibile a tutti.

Alla base vi è il progetto urbanistico che richiama l'idea dell'integrazione e di ciclo, che a partire dalla forma dei 5 cerchi Olimpici, si proietta verso una visione circolare, unita all'ottimizzazione prestazionale dell'involucro dell'edificio simbolo del distretto iconico: l'arena polifunzionale. Quest'ultima è al centro di un progetto che valorizza lo sport e rilancia la vitalità del quartiere, trattandosi dell'elemento distintivo e caratterizzante dell'intera area di progetto. Si tratta di un nuovo landmark che, grazie alla progettazione di un involucro adattivo, caratterizza l'edificio sia dal punto di vista estetico ma soprattutto prestazionale.

La visione all'interno del progetto è quella di creare una stratificazione di funzioni all'interno del nuovo distretto sportivo, aperti e accessibili a tutti i fruitori, garantendo il miglior comfort e ambiente all'interno degli edifici e complessi edificati, tramite ottimizzazione energetica e prestazionale degli elementi di involucro, discretizzati nello studio di facciate adattive innovative e nella scelta di materiali adeguati allo scopo.

La polifunzionalità ed adattività sono elementi ricorrenti sia nella progettazione degli spazi che in quella della stessa facciata adattiva: incorporando un sistema cinetico di regolazione della radiazione insieme con celle fotovoltaiche di seconda e terza generazione, è possibile accumulare e produrre energia rinnovabile per integrare la tecnologia fotovoltaica "invisibile" nell'edificio (BIPV).

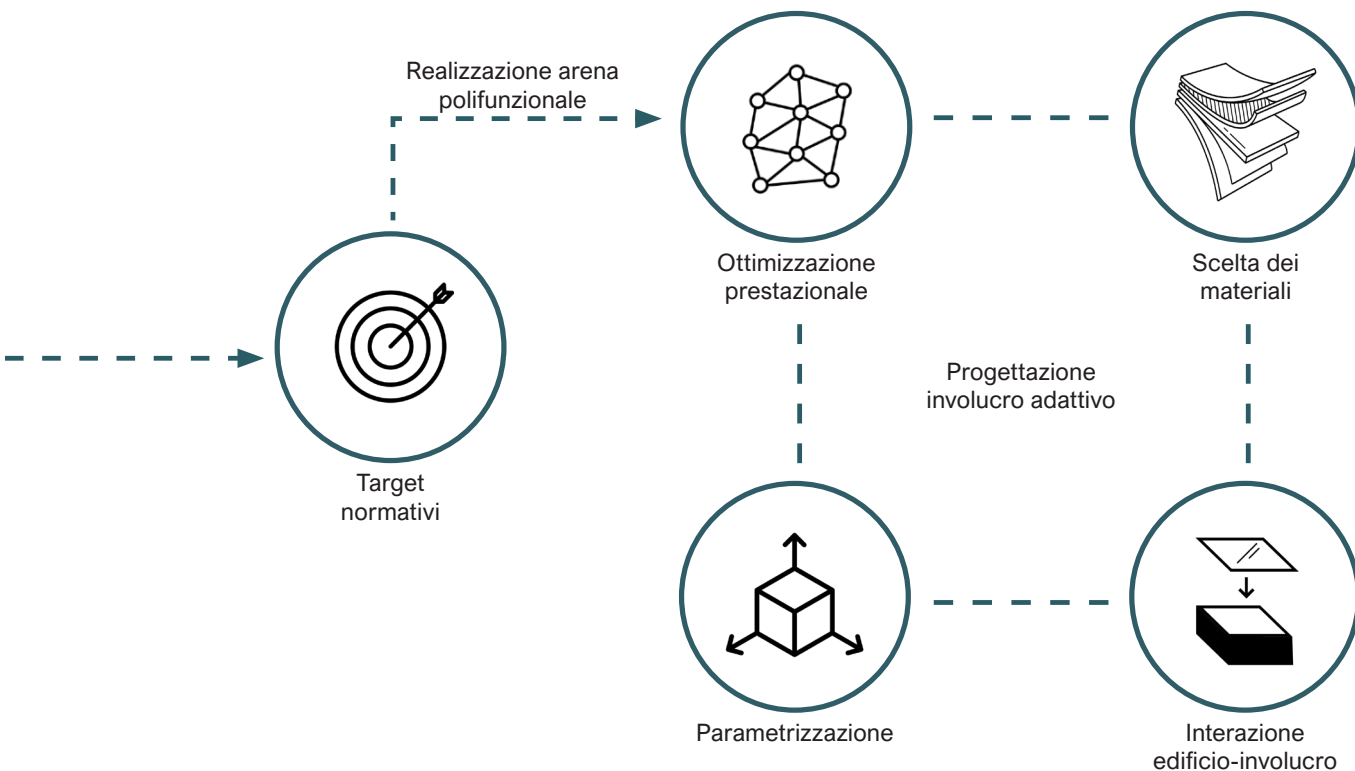


Metodologia

Il progetto ripercorre e discretizza le singole parti, dalla scala urbanistica alla scala di componenti dell'edificio per ricostruire e permettere il migliore sviluppo dell'interazione fra queste. Partendo dal territorio e dalla città si arriva al quartiere, per poi passare alle persone, alla loro vita e dove il progetto può collocarsi a riguardo, valutandone gli impatti; a quel punto si passa all'edificio e alle sue varie parti costitutive, ricostruendo infine una visione globale.

Il nuovo tipo di facciata adattiva deve soddisfare le esigenze dei diversi spazi e delle funzioni coesistenti nell'arena multifunzionale progettata, nonché rispondere alle condizioni climatiche dell'area. Il sistema di facciata è il risultato dei requisiti per un uso appropriato degli spazi interni, tenendo conto delle condizioni climatiche esterne. Attraverso la progettazione di un layout funzionale diversificato, insieme con lo studio del clima, si integrano i requisiti necessari per i vari ambienti all'interno dell'edificio e di conseguenza le caratteristiche specifiche dell'involucro, che si adatti alle mutevoli condizioni al contorno.

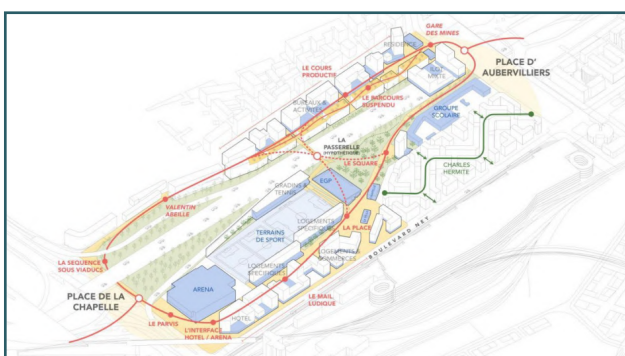
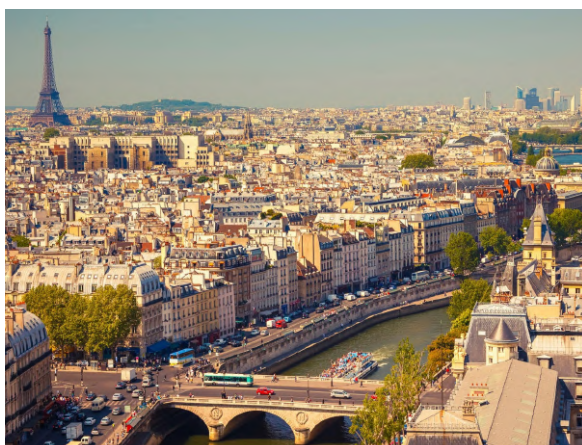
Si tratta di un processo metodologico che ha portato alla definizione tecnologica e architettonica dell'elemento dell'involucro utilizzando la modellazione parametrica, sviluppando modelli su Rhinoceros e Grasshopper: in questo modo è stato possibile controllare la configurazione e il meccanismo della facciata, in funzione della radiazione solare incidente e delle variazioni della temperatura superficiale.



I

IL CONTESTO





Premessa

Lo studio del contesto territoriale parigino ha permesso di estrapolare differenti elementi utili per ideare le soluzioni progettuali. L'emergere di criticità e potenzialità del contesto territoriale è alla base della definizione delle istanze di progetto, a partire dall'esistente tessuto urbano, reti della mobilità e configurazione di spazio pubblico della città. Inoltre, la definizione delle trasformazioni urbane in atto al suo interno permette di visualizzare e guidare le operazioni di sviluppo.

L'avvento delle Olimpiadi e Paraolimpiadi 2024 è uno dei motori della trasformazione. Focalizzando poi l'attenzione sul XVIII arrondissement vengono considerate le peculiarità che caratterizzano la realtà parigina, in modo da conoscere la realtà in cui si inserisce la ZAC Gare des Mines-Fillettes.

01

INQUADRAMENTO TERRITORIALE

1.1. STRUTTURA DELLA CITTÀ

1.1.1. ÎLE-DE-FRANCE

L'Île-de-France è una regione della Francia settentrionale con capoluogo Parigi.

Il suo nome (tradotto in italiano "Isola di Francia") deriva dal fatto che i simbolici confini della regione sono marcati dai fiumi Epte, Aisne, Marna, Yonne ed Eure. Oltre a questi è attraversata dal fiume Senna assieme al meno noto Oise.

Il territorio della regione confina con quello della Normandia a nord-ovest, dell'Alta Francia a nord, del Grande Est a est, della Borgogna - Franca contea a sud-est e del Centro - Valle della Loira a sud-ovest. Si estende per 12.012 km², con una densità abitativa di 940 ab./km².

La regione, oltre a ospitare la capitale politica, rappresenta anche la capitale economica: la regione produce circa il 29% del PIL nazionale e offre lavoro a oltre 5 milioni di persone.

È all'avanguardia nella ricerca, nell'innovazione e nella competitività, ed è anche la principale destinazione turistica del mondo.

Inoltre è suddivisa in otto dipartimenti:

- Parigi;
- Seine-et-Marne;
- Yvelines;
- Essonne;



Figura I.1.1. Regione dell'Île-de-France

Fonte immagine: paris.fr



Figura I.1.2. Dipartimento di Parigi all'interno della regione

Fonte immagine: paris.fr

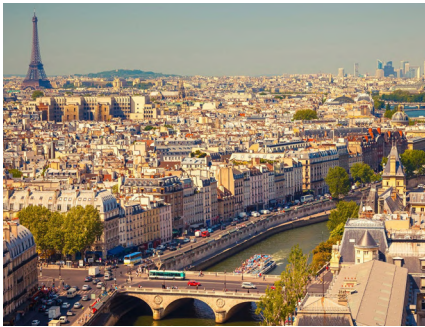


Figura I.1.3. Vista di Parigi

Fonte immagine: paris.fr



Figura I.1.4. Area metropolitana di Parigi

Fonte immagine: paris.fr



Figura I.1.5. Veduta di Parigi

Fonte immagine: paris.it



Figura I.1.6. Abitazioni del XVI secolo

Fonte immagine: paris.fr

- Hauts-de-Seine;
- Seine-Saint-Denis;
- Val-de-Marne;
- Val-d'Oise.

1.1.2. PARIGI

Parigi, con 2.206.488 abitanti al 2015, 10.706.072 abitanti nella sua agglomerazione e 12.532.901 abitanti nella sua area urbana, è la capitale e la città più popolata della Francia, capoluogo della regione dell'Île-de-France e l'unico comune a essere nello stesso tempo dipartimento. Con la locuzione "Grande Parigi" (in francese: Grand Paris) si identifica un territorio che può essere delimitato o dall'agglomerazione o dall'area urbana o dalla Métropole du Grand Paris.

L'area metropolitana di Parigi è il secondo più grande centro economico e finanziario d'Europa dopo Londra. Ospita più del 30% dei "colletti bianchi" francesi, e più del 40% delle sedi centrali delle compagnie francesi, con il più grande distretto finanziario d'Europa per dimensioni (La Défense) e la seconda più grande borsa d'Europa (Euronext Paris).

Nota in tutto il mondo come la Ville Lumière (la "città delle luci"), Parigi è una delle principali destinazioni turistiche mondiali. La città è rinomata per la bellezza della sua architettura, i suoi viali e i suoi scorci, oltre che per l'abbondanza dei suoi musei. Costruita su un'ansa della Senna, è divisa in due parti: la Rive droite a nord e la più piccola Rive gauche a sud. Si estende per 105,4 km², con una densità abitativa di 21.148,91 ab./km², tra le più elevate al mondo.

Parigi è considerata come il centro del mondo francofono e ha mantenuto una posizione internazionale di grande rilievo, sia come influente metropoli mondiale, sia come centro culturale, politico ed economico di indiscusso prestigio. Amministrativamente è suddivisa in 20 "arrondissement".

1.1.3. RETI DELLA MOBILITÀ

Riferimento tavola 01

Parigi può vantare una rete di trasporto pubblico grande e funzionale: autobus, tram, treni e metropolitana consentono un buon servizio non solo in tutti i quartieri del centro, ma anche nella periferia. Parigi è servita da due scali principali, l'Aeroporto Charles de Gaulle e l'Aeroporto di Orly. Questi due aeroporti sono connessi al centro città grazie alle linee RER e autobus che consentono di arrivare comodamente fino al cuore di Parigi, con fermate nei maggiori punti o stazioni turistiche della città. L'aeroporto Charles De Gaulle è inoltre servito da una delle autostrade principali di Parigi, l'autostrada A1.

Un altro mezzo fondamentale per la capitale francese è la RER (Rete Espressa Regionale), è un servizio treni che collega la periferia dell'Île de France con il centro cittadino. La RER è costituita da 5 linee, con più di 250 stazioni e quasi 600 chilometri di rete.

Il tram è meno usato degli altri mezzi di trasporto, sia dai turisti che dai parigini, la rete non è molto estesa, sono appena 4 linee che percorrono soltanto le zone periferiche di Parigi.

Il mezzo di trasporto più rapido ed economico per spostarsi a Parigi è la metropolitana, famosa per terza più lunga d'Europa: vanta più di 300 stazioni con un'estensione di 200 km ed è preceduta solamente da quelle di Londra e di Madrid. La metropolitana parigina collega i vari arrondissements della città grazie alle sue 16 linee che si diramano nel sottosuolo parigino. A queste si aggiunge la linea Orlyval, la metropolitana di superficie che crea una connessione tra l'aeroporto di Parigi-Orly e la stazione Antony.



Figura I.1.7. Mappa dei trasporti pubblici di Parigi

Fonte immagine: mapsparis.com

Anche la rete degli autobus è ben organizzata e ramificata all'interno della città, nonostante siano più lenti della metropolitana hanno il vantaggio di consentire al turista di osservare dal finestrino Parigi e le bellezze che ha da offrire.

1.1.4. SPAZI PUBBLICI

La città di Parigi ha deciso di investire all'interno della sua storia e fin dai primi anni della sua urbanizzazione sulla promozione di spazi pubblici di aggregazione sociale, espandendo sempre di più l'accessibilità di questi luoghi: si può dire che si tratta di una città "sociale", sempre aperta alle nuove sfide e con una forte partecipazione attiva da parte della popolazione. Questa visione viene integrata da un approccio di progettazione universale nel quale vengono introdotte differenti strategie per guidare le future scelte.

Nella sua ottica di città dei 15 minuti Parigi, prevede l'attuazione di un approccio di progettazione universale per soddisfare le esigenze e le aspettative delle popolazioni e per offrire un comfort d'uso ottimale a tutti, bambini e adulti, per tutti i tipi di disabilità. L'idea è quella di garantire una qualità omogenea di utilizzo degli spazi, evitando discontinuità dalla casa al luogo in cui si svolge l'attività; questa ambizione punta al 100% di alloggi familiari accessibili nella ZAC del Villaggio Olimpico e Paralimpico, alla presenza di un'area di seduta ogni 50 m, all'omogeneità del design e a un alto livello di accessibilità.

Definendo la resilienza urbana, anche attraverso l'innovazione, per stabilire una base minima di condizioni accessibili e quindi garantire la possibilità di funzionare in modalità degradata, contando in particolare sul contributo di soluzioni tecnologiche. Alla base delle strategie c'è la valorizzazione di un patrimonio metodologico, attraverso la realizzazione di soluzioni replicabili, la formalizzazione dell'approccio e la capitalizzazione delle esperienze per alimentare i futuri sviluppi legislativi e futuri sviluppi legislativi e normativi.

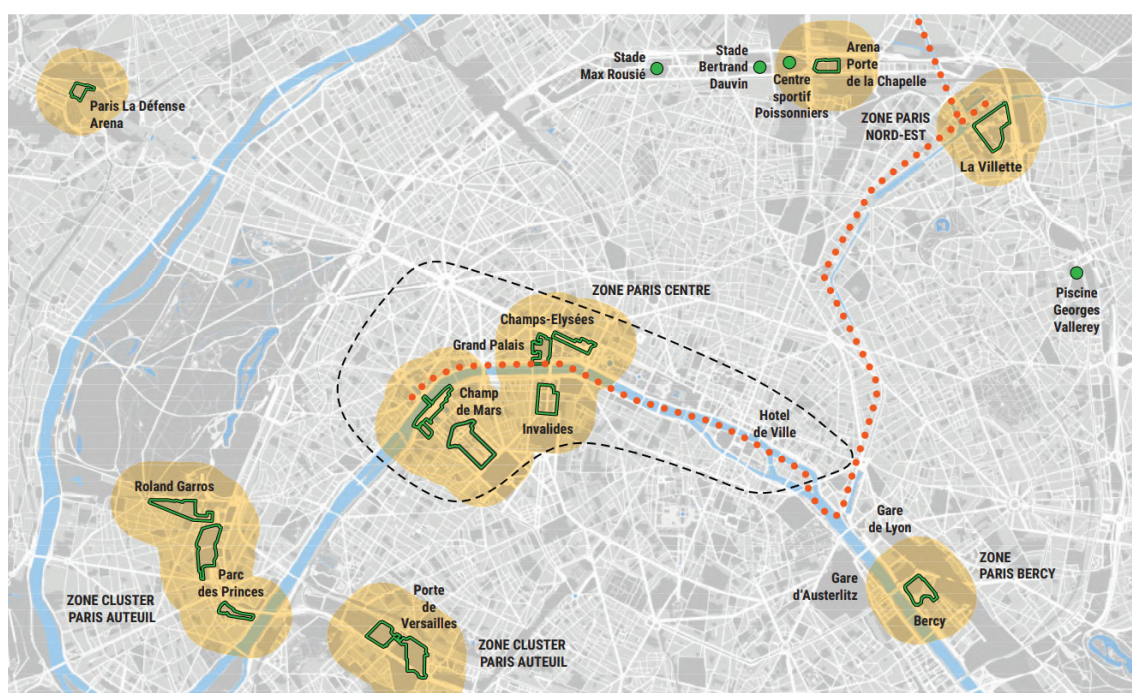


Figura I.1.8. Mappa dei quartieri "pilota" 100% accessibili

Fonte immagine: apur.org

1.2. IL CICLO DELL'ACQUA E LA CITTÀ

Con “ciclo dell’acqua” si intende la circolazione dell’acqua dolce nell’ambiente. Essa avviene in diverse fasi, partendo dall’evaporazione dell’acqua dagli oceani o dalle superfici continentali, per poi circolare nell’atmosfera sotto forma di vapore acqueo e ricadere sotto forma di precipitazioni, infiltrandosi dunque nel suolo o scorrendo in superficie, per raggiungere infine di nuovo l’oceano o ri-evaporare dal suolo stesso riprendendo così il ciclo.

Durante questo ciclo, l’acqua passa attraverso le aree antropizzate, dove può essere prelevata per diversi usi legati all’attività umana, oppure trattata, ad esempio dalla vegetazione o dalle coperture, e venire quindi riutilizzata sfruttando diverse modalità. Si tratta quindi della parentesi urbana dell’acqua, che può essere definita come “piccolo ciclo dell’acqua”.

In particolare, la città di Parigi è stata costruita attorno alla Senna e ciò comporta una forte pressione sul fiume, sia per il suo flusso medio che nei periodi estivi si riduce, sia per i massicci prelievi per l’approvvigionamento di acqua potabile e per usi industriali, oltre che per l’aspetto degli scarichi delle acque reflue. L’importanza di questi scarichi è tale che il deflusso cumulativo dagli impianti di trattamento è considerato come uno degli affluenti della Senna. La più o meno buona gestione del deflusso ha quindi conseguenze dirette sugli apporti agli impianti di trattamento delle acque reflue e sulla qualità dell’acqua scaricata nei corsi d’acqua. Inoltre, l’impermeabilizzazione dei suoli nella metropoli, legata allo sviluppo urbano, provoca l’esondazione delle reti in caso di pioggia.

Una corretta gestione dell’acqua piovana è quindi un interesse importante per l’intero ciclo dell’acqua e può contribuire positivamente anche ad altre politiche pubbliche urbane, come la riduzione delle isole di calore e la conservazione della biodiversità.

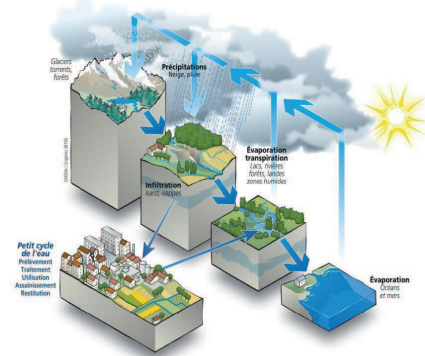


Figura I.1.9. Il ciclo dell’acqua
Fonte immagine: *Référentiel pour une gestion à la source des eaux pluviales dans la métropole - Cahier 1, Apur*

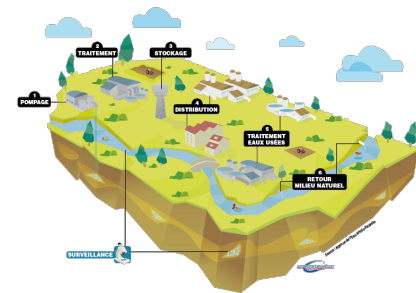


Figura I.1.10. Il “piccolo ciclo dell’acqua”
Fonte immagine: *eau-artois-picardie.fr*



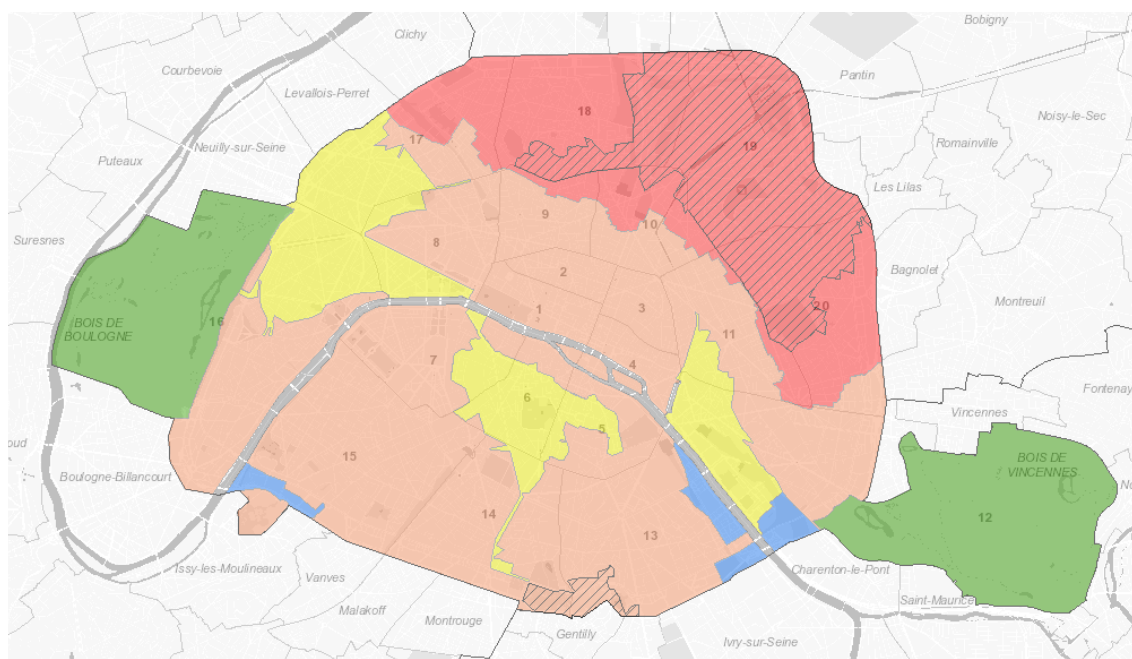
Figura I.1.11. La Senna
Fonte immagine: *paris.fr*

1.2.1. PARISPLUIE

Un cambiamento di paradigma nella gestione dell'acqua piovana è stato attuato il 22 marzo 2018 tramite il Piano di Zonizzazione delle acque piovane: ParisPluie.

Questo piano prescrive la riduzione del volume dei primi millimetri di pioggia, fissando una soglia minima di 4, 8, 12 o 16 mm a seconda dell'area geografica. Riducendo i volumi di acqua piovana inviata al sistema di fognatura combinata, ParisPluie mira a limitare i rischi di tracimazione della rete e di scarico di acque unificate nella Senna durante le piogge, limitando così l'inquinamento dell'ambiente naturale.

Inoltre, gli strumenti che promuove, come le aree vegetate o i materiali porosi, riattivano i naturali fenomeni di scambio suolo-aria, contribuendo così al raffreddamento della città. Applicabile in spazi pubblici e privati, in progetti di rinnovamento urbano e settori di sviluppo, il Piano accompagna anche le politiche di resilienza e di adattamento ai cambiamenti climatici della città di Parigi.



Abbattimento dei volumi dei primi mm di pioggia

- 100% 4 mm - 30% 16 mm
- 100% 8 mm - 55% 16 mm
- 100% 12 mm - 80% 16 mm
- 100% 16 mm
- Scarico diretto nel fiume
- Zone protette

Figura I.1.12. Mappa della zonizzazione pluviale
Fonte immagine: paris.fr

1.2.2. INFILTRAZIONE NEL SOTTOSUOLO

Uno dei principali obiettivi della zonizzazione delle acque piovane a Parigi è gestire l'acqua piovana il più vicino possibile al suo punto di arrivo. L'infiltrazione è quindi una delle prime tecniche per gestire quest'acqua. Molti parametri devono essere presi in considerazione per progettare strutture che consentano l'infiltrazione, come la natura del terreno, la presenza di acque sotterranee e di reti sotterranee.

NATURA DEL SUOLO

Il primo strato del sottosuolo parigino è costituito quasi interamente da materiale di riempimento molto eterogeneo. In alcuni punti, il suo spessore può raggiungere i 25 metri come nella collinetta di Montmartre. Essendo molto eterogeneo, la possibilità di infiltrazione può quindi essere variabile.

Il sottosuolo parigino è poi stato sfruttato fin dal Medioevo per estrarre il calcare e il gesso necessari per la costruzione, creando così delle cave che sono sottoposte a un regolare monitoraggio periodico. Gli strati geologici ricchi di gesso e argilla richiedono quindi misure precauzionali in relazione alla presenza di acqua.

Il 18° arrondissement è caratterizzato dalla presenza di poche aree di riempimento di scarsa qualità, a cui si aggiunge soprattutto la significativa presenza su quasi tutto il suo territorio di terreni esposti al rischio di dissoluzione del gesso, nonché vecchi settori di cava di gesso a cielo aperto. Questo distretto nel suo insieme costituisce quindi un'area molto sensibile.

ACQUE SOTTERRANEE

In quasi due secoli il livello della falda freatica sotto Parigi è cambiato notevolmente.

La mappa di Achille Delesse del 1862 viene considerata come il punto di riferimento per determinare il livello naturale della falda acquifera sotto Parigi, in quanto a quel tempo gli scambi tra il fiume e la falda freatica erano naturali, con una falda alluvionale che alimentava la Senna.

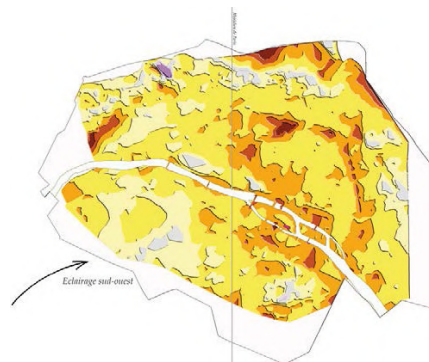


Figura I.1.13. Innalzamento del suolo a Parigi

Fonte immagine: *Préservation et valorisation de la ressource en eau brute- Une gestion parisienne des eaux pluviales*, Apur

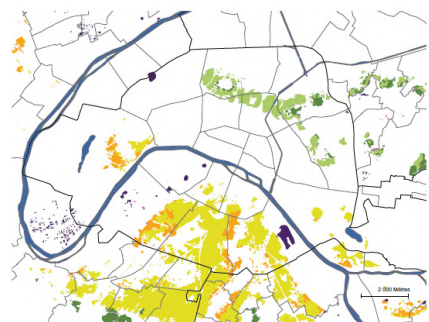


Figura I.1.14. Cave

Fonte immagine: *Le diagnostic territorial du PLU*, Apur

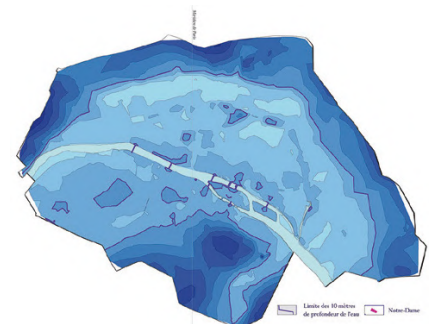


Figura I.1.15. Profondità della falda freatica durante la prima metà del XIX secolo

Fonte immagine: *Préservation et valorisation de la ressource en eau brute- Une gestion parisienne des eaux pluviales*, Apur

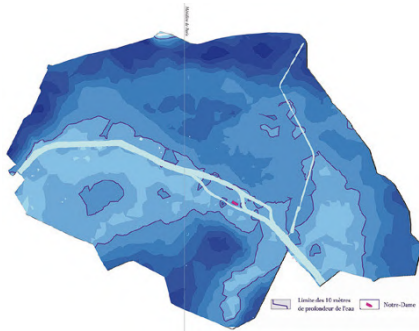


Figura I.1.16. Profondità della falda freatica durante la seconda metà del XX secolo

Fonte immagine: *Préservation et valorisation de la ressource en eau brute- Une gestion parisienne des eaux pluviales*, Apur

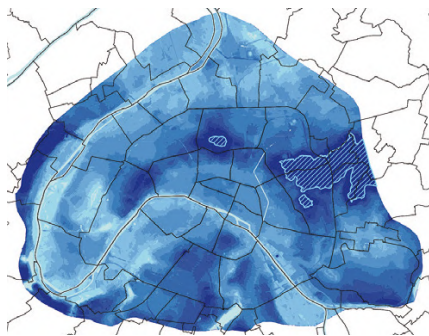


Figura I.1.17. Profondità della falda freatica e ubicazione delle acque sotterranee nel 2012

Fonte immagine: *Préservation et valorisation de la ressource en eau brute- Une gestion parisienne des eaux pluviales*, Apur

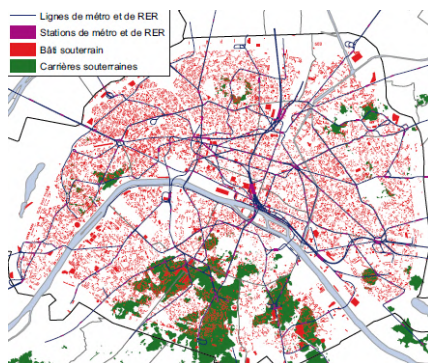


Figura I.1.18. Mappa del sottosuolo parigino

Fonte immagine: *Préservation et valorisation de la ressource en eau brute- Une gestion parisienne des eaux pluviales*, Apur

Nel 1969, il geologo Philippe Diffre realizzò una nuova mappa che mostrava importanti cambiamenti, ovvero una zona di forte depressione sulla riva destra, dovuta principalmente alle numerose operazioni di pompaggio legate alla presenza di industrie e di cantieri, causando anche un abbassamento della Senna di quasi 16 m in alcuni settori.

Negli anni '80, l'abbandono delle grandi industrie e la fine delle grandi opere hanno portato a un generale innalzamento della falda freatica, provocando quindi l'allagamento di cantine e parcheggi. Si è quindi proceduto sistematicamente al pompaggio per stabilizzare la falda freatica a un livello più basso.

Attualmente, la falda freatica di Parigi si è stabilizzata a una bassa profondità: tra i 10 e i 15 metri in media e più di 35 metri di profondità in alcuni punti. La presenza di acqua, ormai rara nel sottosuolo parigino, può però facilitare l'infiltrazione.

A parte le due falde acquifere arroccate sulle collinette di Belleville e Montmartre e la falda alluvionale, sono presenti quattro strati d'acqua nelle formazioni geologiche di Parigi. Al di là, la profonda falda acquifera albiana (600 m) forma una riserva idrica di alta qualità preservata dal piano regolatore per lo sviluppo e la gestione delle acque (SDAGE). Anche gli impianti geotermici, profondi o di superficie, sono legati alle falde acquifere.

LE RETI SOTTERRANEE

La metropolitana di Parigi è spesso paragonata a una vera e propria "gruviera" per via delle reti presenti sotto i marciapiedi e le strade (RER, Metro, fognature, elettricità, gas, fibre ottiche, aria condizionata...).

Lo studio condotto da Aurélie Lamé mostra che tutte queste infrastrutture occupano già quasi il 20% dello spazio sotterraneo parigino e che solo l'1,6% interferisce attualmente con la falda acquifera. Tuttavia, considerando una situazione in cui la falda freatica ritorna al livello conosciuto a metà del XIX secolo, quando il pompaggio era molto limitato, quasi il 30% di queste infrastrutture si troverebbe nella falda freatica.

Tutti gli edifici di Parigi sono allacciati alla rete elettrica, mentre le reti del gas, e soprattutto quelle del riscaldamento e del raffrescamento, non servono l'intero territorio. La creazione di queste grandi reti è avvenuta in ondate successive con lo sviluppo della rete del gas cittadino e della rete elettrica a partire dalla seconda metà del XIX secolo .

La rete di riscaldamento parigina creata nel 1927 consente di convogliare il calore sotto forma di vapore o acqua calda agli edifici collegati, dove viene utilizzato per il riscaldamento e l'acqua calda sanitaria. Oltre il 90% della rete di distribuzione funziona a vapore (235°C), che consente il trasporto del calore su lunghe distanze, mentre per i prolungamenti più recenti il vapore è stato abbandonato a favore dei circuiti ad acqua calda.

La rete di riscaldamento è mal collegata nel 18° arrondissement, in particolare intorno alla Butte Montmartre, che non serve. La sua presenza è stata rafforzata con il recente sviluppo di due anelli di acqua calda nel 2009 e nel 2018: un primo che alimenta la ZAC Pajol, e un secondo, indipendente dalla rete, con centrale termica a biogas e recupero di calore su data center, che rifornisce il distretto Chapelle-International.

Dal 1991, Parigi dispone anche di una rete di raffreddamento per fornire una risposta virtuosa alle crescenti esigenze di raffreddamento degli edifici. La produzione è assicurata dallo scambio diretto con la Senna quando la sua temperatura lo consente (periodo invernale) e da macchine termiche alimentate da energia elettrica rinnovabile al 100%. La maggior parte del calore di scarto generato viene scaricato nella Senna, il che limita l'impatto sull'isola di calore urbana. Questa rete non serve il 18° arrondissement.

Più recenti, le reti di comunicazione elettronica fisse (fibra ottica, cavo, DSL) o mobili (3G, 4G, 5G) che consentono di erogare diversi servizi: telefonia, accesso a Internet, servizi televisivi o di capacità venduti alle imprese.

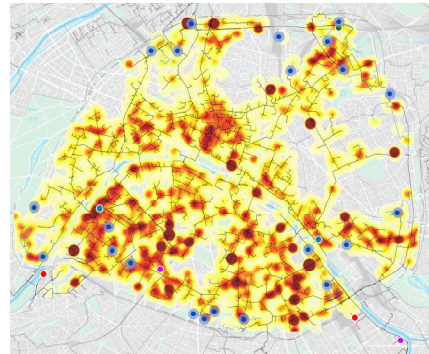


Figura I.1.19. Rete di riscaldamento
Fonte immagine: Le diagnostic territorial du PLU, Apur

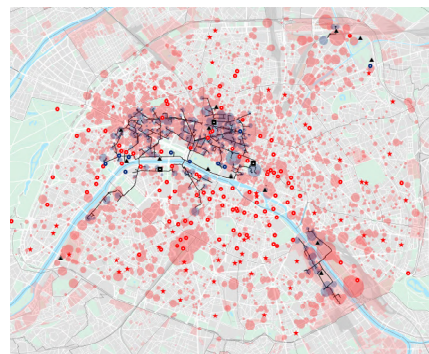


Figura I.1.20. Rete di raffreddamento
Fonte immagine: Le diagnostic territorial du PLU, Apur



Figura I.1.21. Posizione delle stazioni 3G/4G/5G in servizio
Fonte immagine: Le diagnostic territorial du PLU, Apur

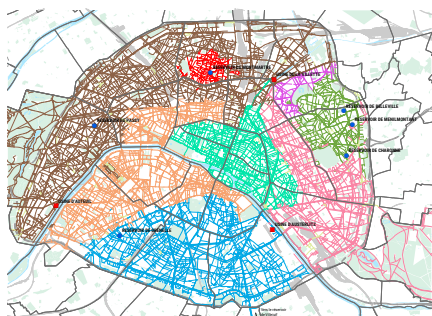


Figura I.1.22. Rete idrica non potabile

Fonte immagine: *Le diagnostic territorial du PLU, Apur*

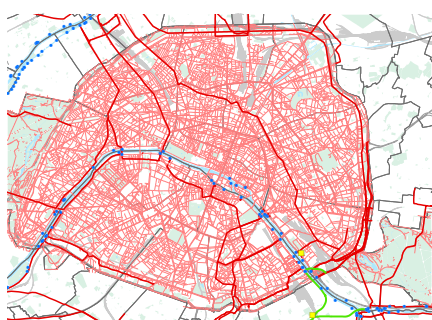


Figura I.1.23. Rete sanitaria

Fonte immagine: *Le diagnostic territorial du PLU, Apur*

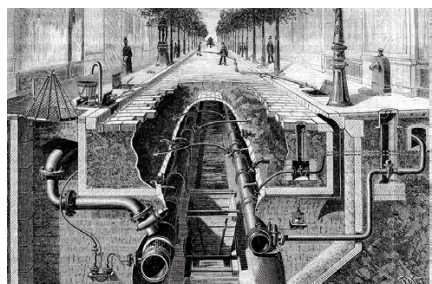


Figura I.1.24. Impermeabilizzazione delle città

Fonte immagine: *Préservation et valorisation de la ressource en eau brute- Une gestion parisienne des eaux pluviales, Apur*



Figura I.1.25. Mappa delle strade asfaltate di Parigi

Fonte immagine: *Préservation et valorisation de la ressource en eau brute- Une gestion parisienne des eaux pluviales, Apur*

Riguardo invece all'approvvigionamento di acqua potabile, esso è bilanciato tra acque sotterranee, provenienti da fonti naturali situate in un raggio di 150 km, e acque superficiali, prelevate dalla Senna e dalla Marna. Quest'acqua viene convogliata ai centri di trattamento da 470 km di acquedotti.

Progettata nel XIX secolo, la maggior parte della rete idrica non potabile risale a prima del 1930. Alimentata da acque superficiali (Ourcq, Seine e Marne), conta quasi 1.700 km di condotte. Tre impianti prelevano l'acqua dal Canal de l'Ourcq (La Villette) e dalla Senna (Austerlitz, Auteuil) e la distribuiscono a sette serbatoi, i quali la restituiscono per gravità alle sottoreti. Questa acqua grezza alimenta le cisterne con fognature, scarichi di lavaggio, irrigazione e riempimento per la pulizia delle strade e l'irrigazione delle piantagioni, nonché la struttura idrica dei parchi, giardini e boschi.

Infine, la rete sanitaria di Parigi rappresenta 2.500 km ed è prevalentemente unitaria, eccetto pochi grandi settori di sviluppo che hanno reti separate. Ereditata dal XIX secolo, la rete fognaria parigina ha la particolarità di essere aperta ai visitatori, il che ne facilita la manutenzione e consente il passaggio delle altre reti.

1.2.3. LA PERMEABILITÀ DEL SUOLO

L'impermeabilizzazione delle città è stata ampiamente sviluppata a partire dalla seconda metà del XIX secolo per motivi igienico-sanitari. Sigillare la città significava controllare la circolazione dell'acqua superficiale e il suo instradamento attraverso le fognature, ma anche di prevenire la contaminazione del sottosuolo. Inoltre, l'organizzazione del territorio urbano doveva favorire una migliore circolazione e distribuzione dei flussi tra pedoni e veicoli. Per più di un secolo, la città è stata servita attraverso un unico sistema centralizzato, il "tutto-tubo".

Parigi invece è stata a lungo una città permeabile e i materiali di superficie, prima di essere dominati dall'asfalto, variavano tra marciapiedi e pavimentazioni.

Nel 2018, l'Apur (Atelier parisien d'urbanisme) ha proposto un metodo che consiste nel redigere un inventario della situazione, al fine approfondire l'identificazione e la quantificazione delle superfici che sono già state impermeabilizzate, con l'obiettivo di valutare la capacità del territorio in esame di evolvere verso superfici più scollegate, considerando 18 bacini idrografici di utenza.

Questi bacini urbani sono stati identificati come entità rilevanti per valutare la fattibilità di una città permeabile, in quanto indicano l'area totale drenata da un fiume e dai suoi affluenti, in questo caso la Senna. Le loro superfici, che variano da 500 a 1.500 ettari, e le categorie di spazio che li compongono, possono essere analizzati dal punto di vista della gestione locale delle acque piovane e rivelare la dinamica dell'impermeabilizzazione e della vegetazione nei diversi territori. Il bacino idrografico più esteso è quello di Clichy, nella parte Nord della città, che ricopre un'area di 1903 ettari, comprendendo quindi diversi arrondissement.

L'identificazione delle superfici permeabili di questi bacini idrografici avviene distinguendo gli spazi pubblici, intesi come la rete stradale, e quelli privati. L'individuazione di superfici permeabili su tutti questi bacini di utenza, è stata basata su diversi set di dati di qualità variabile.

Per gli spazi pubblici, i dati di partenza sono stati quelli dei piani stradali della Direction de la Voirie et des Déplacements (DVD) della città di Parigi, che indicano solamente le linee di cambiamento dei materiali.

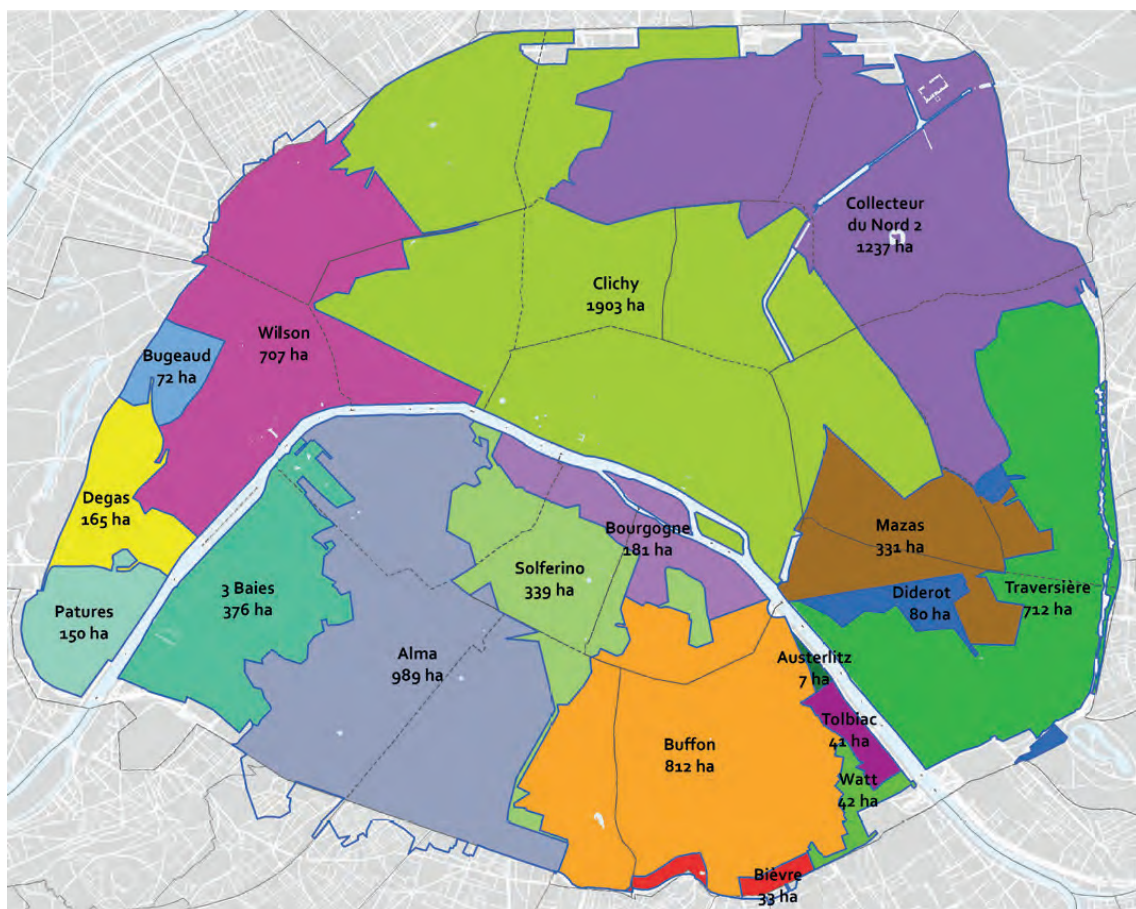


Figura I.1.26. I 18 bacini idrografici

Fonte immagine: *Gérer les eaux pluviales à Paris, atlas du potentiel par bassin versant*, Apur

Incrociando questi dati con quelli della Direction des Espaces Verts et de l'Environnement (DEVE), è stato poi possibile isolare gli spazi verdi sulla strada.

Le superfici permeabili dello spazio pubblico sono quindi costituite dalle seguenti aree:

- Carreggiate stradali o isole di carreggiate vegetate come alcune rotatorie (28,5 ha);
- Fioriere (18,7 ha);
- Alberi piantati singolarmente (15,5 ha);
- Filari di alberi (35,1 ha);
- Argini (13 ha).

In totale, si stima che 111,2 ettari siano permeabili, cioè quasi il 5% della superficie di questi spazi pubblici.

Per quanto riguarda gli appezzamenti privati, è dalla foto al vicino infrarosso del 2015 che lo spazio è suddiviso in 3 categorie: spazio edificato, spazio non edificato non vegetato e spazio aperto non vegetato. Le superfici vegetate delle superfici private rappresentano quindi 1.343 ha, ovvero il 23% della superficie dei lotti.

La somma delle superfici permeabili degli spazi pubblici e privati rappresenta 1.454 ettari, ossia una media del 17,8 % della superficie totale dei bacini idrografici ed è lo spazio privato a contribuire maggiormente, ospitando il 92% delle superfici permeabili in questo settore (con 1.343 ettari).



Figura I.1.27. Le superfici permeabili

Fonte immagine: *Gérer les eaux pluviales à Paris, atlas du potentiel par bassin versant*, Apur

1.3. ANALISI STORICA

La popolazione dei Galli Parisii è un gruppo di stirpe celtica che s'insedia nell'area nel III secolo a.C. con cui si scontreranno i Romani nel 52 a.C., quando, guidati da Giulio Cesare, conquisteranno l'antico insediamento e fonderanno una nuova città, Lutetia Parisiorum. Nasce così l'antica "città" di Parigi, che in questa fase si estende sull'Île de la Cité e sulla riva sinistra della Senna ed è dotata di tutte le infrastrutture caratteristiche delle città romane.

Lo sviluppo e l'affermazione della religione cristiana saranno il motore di una nuova evoluzione politica, sociale e urbanistica. Primo vescovo e martire di Parigi fu Saint Denis, decapitato durante la persecuzione dei Cristiani da parte dei Romani. Nel 507 d.C. Parigi assumerà il ruolo di capitale grazie a Clodoveo, re della dinastia dei Merovingi, nato pagano e convertitosi al Cristianesimo. La città vede l'apparire di varie chiese in stile protocristiano. Durante il Medioevo vediamo sorgere una serie di edifici costruiti in stile gotico: tra questi, Notre Dame, la cattedrale più famosa e conosciuta. La Sainte Chapelle, gioiello in stile gotico radiante, fu invece costruita nel XIII secolo da San Luigi dei Francesi per custodire le sacre reliquie. Risale infine a questo periodo la prima costruzione del Louvre, antica fortificazione.

Il grande protagonista del XVII secolo fu proprio il nipote di Enrico IV di Borbone, Luigi XIV (Re Sole) riuscì a fare della Francia la potenza più rispettata d'Europa. A partire dalla seconda metà del XVII secolo Luigi XIV si fa costruire un palazzo fuori Parigi, a Versailles, e questa sarà la sua residenza principale. Del periodo del regno di Luigi XIV a Parigi possiamo ammirare ancora oggi l'architettura imponente ed elegante della Place Vendôme costruita dall'architetto Jules Harduin Mansart in puro stile classico, così come la Place des Victoires. Altra grande realizzazione è il colonnato del Louvre, disegnato da Claude Perrault e l'Institut de France, progetto del grande architetto di Versailles, Louis Le Vau. Viene realizzato in questo periodo anche Les Invalides, complesso nato come ospedale militare e oggi sede del museo dell'esercito.



Figura I.1.29. Parigi nel 1450

Fonte immagine: paris.it

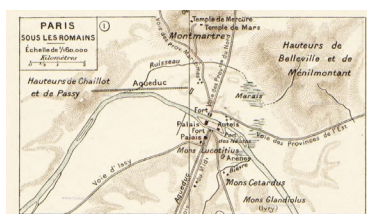


Figura I.1.28. Parigi in età romana

Fonte immagine: paris.it



Figura I.1.30. Parigi nel 1550

Fonte immagine: paris.fr

Il XVIII secolo segnerà per sempre la storia della Francia e dell'assetto europeo, con il tramonto della secolare monarchia francese. Il malcontento popolare esplose il 14 Luglio 1789 con la presa della Bastiglia, evento emblematico, che segna l'inizio della Rivoluzione Francese. Tre sono i luoghi cruciali, simbolo della Rivoluzione Francese. Il primo è la Piazza della Bastiglia, luogo che conserva oggi soltanto il nome dell'antica fortezza (Bastille) costruita nel XIV secolo dal re Carlo V di Valois. La Conciergerie, sede dell'antico palazzo reale dei re Capetingi ed infine, la famosa Place de la Concorde, già Place Louis XV ribattezzata Piazza della Rivoluzione.

Fino al 1820, Parigi conservava gran parte del suo aspetto medievale, con la sua complessa rete di strade e di vicoli. Durante l'Impero di Napoleone I e la Restaurazione (1814 – 1830), le nuove costruzioni furono edificate su terreni prevalentemente incolti e le strade furono estese alla periferia, con i nuovi tracciati dei grandi viali dei quartieri situati a ovest e nord-ovest della città. Fino all'inizio della Monarchia di luglio (1830 – 1848), i confini di Parigi si fermavano al Mur des Fermiers Généraux, costruito dall'architetto Claude-Nicolas Ledoux dal 1784 al 1787, che aveva principalmente la funzione di controllo doganale per la riscossione dei dazi di ingresso delle merci in città.

La seconda metà del XIX secolo invece è marcata dal governo conservatore di Napoleone III, il quale si fa promotore di grandi lavori di rinnovamento della città. Avvalendosi del suo prefetto, il barone Georges Eugène Haussmann, i Grands Travaux travolgeranno totalmente la configurazione medievale della città, dando vita ad un nuovo e decisivo programma urbanistico. Parigi si trasforma da insalubre città medioevale a moderna capitale: le tradizionali case a graticcio scompaiono dal paesaggio parigino e le stradine strette vengono sostituite da grandi boulevard bordate da eleganti palazzi.

Con il disegno di legge del 26 maggio 1859, si estesero definitivamente i confini della città fino alle fortificazioni, l'area compresa tra il muro dei dazi e il recinto di Thiers fu così annessa. Questo è anche il periodo segnato dalle grandi Esposizioni Universali e dalle innovazioni dell'architettura in ferro e vetro. A Parigi vengono organizzate ben sei grandi esposizioni universali a partire dal 1855 fino al 1937. Ed è per l'esposizione del 1889, che viene eretto il più celebre monumento parigino: la Tour Eiffel.

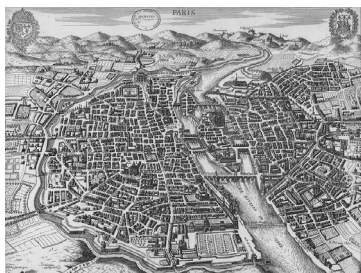


Figura I.1.31. Parigi nel 1630
Fonte immagine: paris.it

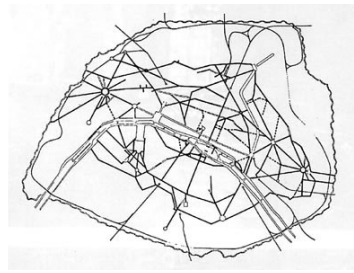


Figura I.1.33. Nuova griglia stradale dopo il 1870
Fonte immagine: cittasostenibili.it



Figura I.1.32. Parigi nel 1853
Fonte immagine: cittasostenibili.it

1.4. TRASFORMAZIONI URBANE A PARIGI

1.4.1. ZAC

Dopo i Grands Travaux del barone Haussmann, la città di Parigi rimarrà sostanzialmente invariata fino al primo Dopoguerra ed in seguito con la crisi immobiliare della prima metà degli anni Novanta, quando è stato necessario mettere in discussione la pianificazione urbana.

A partire dalla legge sull'orientamento del territorio del 1967, vengono promossi due strumenti principali per la realizzazione di politiche di sviluppo: il POS (Plan d'Occupation des Sols) e le ZAC (Zones d'Aménagement Concertées), in modo da avere un doppio livello di pianificazione. Il POS traduce gli obiettivi della politica urbana di un comune e stabilisce i diritti di costruzione su base parcellare, mentre attraverso le operazioni di ZAC il comune ha la possibilità di intervenire direttamente come promotore.

Nella seconda metà degli anni '80 alcuni comuni hanno sviluppato progetti urbani a lungo termine, cercando di trasformare il documento normativo del POS in un piano urbano lungimirante. Altri hanno istituito un piano di sviluppo urbano informale che, per alcune città, è stato applicato su base ad hoc attraverso ZAC o modifiche specifiche del POS. Alcune città perseguono una politica di sviluppo dello spazio urbano attraverso il "project urbanism" che dà priorità alla forma urbana.

Le ZAC sono definite nell'art. L. 311-1 del codice urbanistico come segue: "Le aree di sviluppo concertato sono aree all'interno delle quali un'autorità pubblica o un'istituzione pubblica con vocazione a farlo decide di intervenire per realizzare o far realizzare lo sviluppo e l'equipaggiamento di terreni, in particolare quelli che tale autorità o tale istituzione ha acquisito o acquisirà al fine di trasferirli o concederli successivamente a utenti pubblici o privati". Si tratta quindi, all'interno di un perimetro individuato, di concentrare mezzi di azione tecnici e finanziari al servizio di un programma di sviluppo.

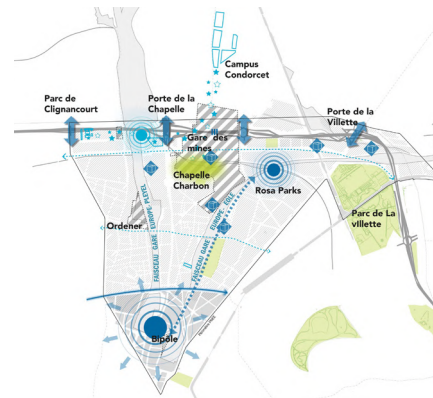


Figura I.1.34. Trasformazioni urbane settore Nord-Est di Parigi

Fonte immagine: Leclercq Associés



Figura I.1.35. Parigi Nord-Est in trasformazione

Fonte immagine: fne-paris.fr



Figura I.1.36. Reinventing Cities, Progetto Odissea Pleyel Saint-Denis

Fonte immagine: paris.fr

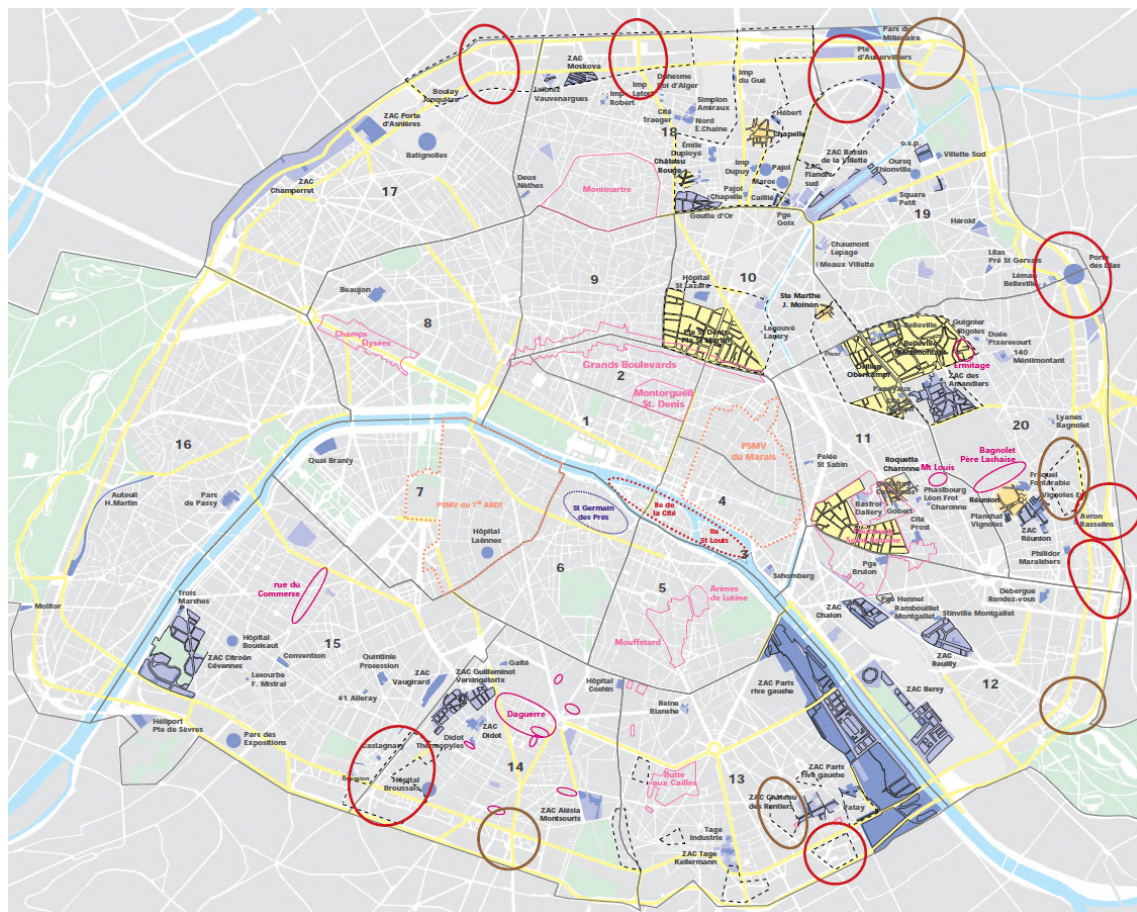


Figura I.1.37. Reinventing Cities, Progetto Porte de Montrueil

Fonte immagine: paris.fr

La caratteristica principale delle ZAC è quella di poter modulare le tariffe fondiari, in modo da creare un mix sociale che il libero mercato può assumere solo su scala molto ampia, da un arrondissement all'altro; infatti, il mix verticale del boulevard parigino, con negozi al piano terra e alloggi di servizio al mezzanino, appartamenti borghesi ai piani inferiori e locali di servizio sotto i tetti, sembra essere scomparso. L'insieme delle ZAC è caratterizzato da una certa eterogeneità, poichè la maggior parte di esse è stata progettata e/o realizzata nell'arco di un periodo relativamente breve di circa vent'anni.

La Città di Parigi ha lanciato diversi bandi per dimostrare che esiste un nuovo modo di reinventare gli usi della Città. Così, "Reinventing Paris", "Reinventing Paris - Les sous de Paris " hanno dimostrato che è possibile costruire la città in modo innovativo, offrendo partner privati per sostenere la volontà delle autorità pubbliche, e unendoli attorno a polivalenti e progetti innovativi. Sullo stesso modello, nel 2016 è stato lanciato il bando "Reinventing the Seine" con 35 siti proposti in riva al fiume o "Inventing the Metropolis of Greater Paris" con 59 siti, di cui 7 in tutto o in parte di proprietà del Comune di Parigi.



- Operazioni programmate di miglioramento dell'habitat (OPAH)
- Operazioni di sviluppo completato o in corso
- Operazioni di sviluppo da realizzare
- Operazioni di sviluppo in fase di studio
- Progetti di rinnovamento urbano in fase operativa
- Progetti di rinnovamento urbano in fase di studio

Figura I.1.38. Mappa delle trasformazioni urbane

Fonte immagine: apur

Le principali ZAC odierne si trovano nelle porzioni Nord e Sud-Est della città. La catena generata dai principali interventi sulle aree del XVII, XVIII E XIX arrondissement, insieme con il XII, costituiscono un progetto di riqualificazione delle periferie da parte del comune di Parigi, per permettere la loro reintegrazione nel tessuto urbano come luoghi attrattivi.

Di queste fanno parte:

- ZAC Bercy (XII);
- ZAC Clichy-Batignolles (XVII);
- ZAC Gare des Mines-Fillettes (XVIII);
- ZAC Claude Bernard (XIX).

Anche la zona Citroën-Cevennes, non più nell'elenco delle ZAC dopo la delibera del 2014, rappresenta un ulteriore esempio di intervento di trasformazione urbana per la realizzazione di nuovi spazi pubblici in aree dismesse.

PARCO CITROËN E LA VILLETTE

Nel 1968, il settore Nord-Est, dalla linea ferroviaria della Gare du Nord alle Buttes Chaumont, era ancora una vasta area scarsamente edificata, con molti grandi appezzamenti industriali e segnata da grandi rotture: i binari e i cantieri della SNCF, il canale dell'Ourcq, il bacino della Villette, e i mazzelli, attorno ai quali si erano insediate molte attività di stoccaggio e di produzione.

La rinascita progettuale del Parco Pubblico a Parigi è rappresentata dal parco realizzato nel quartiere del La Villette sulle aree occupate da un mattatoio dismesso nel 1973. Il progetto relazionato alla memoria storica del sito presentava una soluzione "teorica decostruttivista" e la volontà di realizzare un parco dall'identità architettonica. Per raggiungere questo obiettivo Bernard Tschumi, vincitore del concorso internazionale, sovrappone al sito tre sistemi geometrici: quello della circolazione, quello delle superfici ed infine il terzo, quello che, sovrapposto ai due precedenti, costituisce il reticolo cartesiano delle "folle", cioè le attrezzature del parco coincidenti con i punti di intersezione di una griglia regolare di 120 metri di lato ben riconoscibili per i materiali metallici ed il colore rosso.

Il programma di urbanizzazione per la realizza-

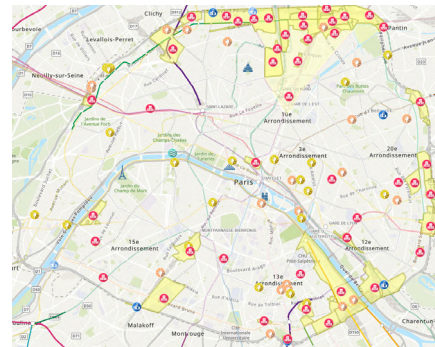


Figura I.1.39. Principali ZAC

Fonte immagine: apur



Figura I.1.40. Planimetria Parc de La Villette

Fonte immagine: paris.it

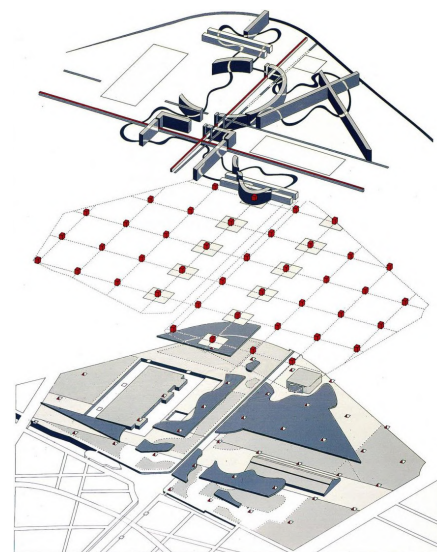


Figura I.1.41. Schema Parc de La Villette

Fonte immagine: B. Tschumi Architects



Figura I.1.42. Parco André Citroën
Fonte immagine: parigi.it

zione del parco André Citroën comprende un ospedale, uffici, diverse attività tra cui l'edificazione di alloggi, ove il progetto di un parco, di circa 12 ettari, viene a costituire il nucleo del quartiere. Esso verrà frazionato in tre unità: il parco vero e proprio disposto perpendicolarmente al fiume e le due piazze, una nera ed una bianca, racchiuse nel tessuto urbanistico. Le due proposte vincitrici exaequo, rispettivamente l'équipe di Provost con Jean Paul Viguier e quella formata da Gilles Clément e da Patrick Berger, sono caratterizzate da un grande spazio centrale disegnato ai lati da corsi d'acqua rettilinei, l'apertura verso l'asta fluviale, ma più importante è il fatto che entrambi attribuivano un valore decisivo al ruolo della natura nel definire il carattere del progetto: un'attenzione primaria agli elementi costitutivi del parco.

BERCY

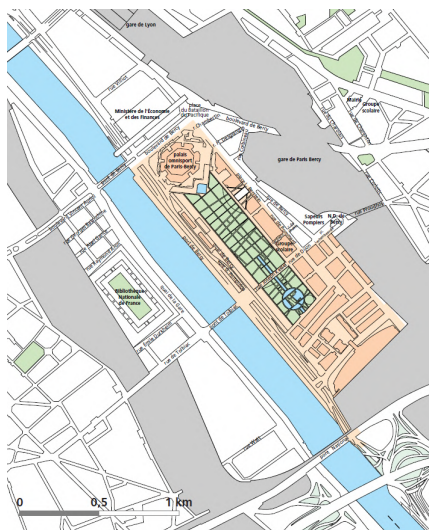


Figura I.1.43. Area ZAC Bercy
Fonte immagine: parigi.it

Nel quartiere di Bercy, tra la linea ferroviaria e la Senna, si estendono le vaste aree dei cantieri della SNCF e del mercato del vino. Fra il 1973 e il 1978 vengono messi a punto, con il coordinamento della DAU e dell' APUR, una serie di programmi che, attraverso la declinazione del binomio parco/lotizzazioni, permettono di precisare gradualmente gli elementi di un preliminare progetto urbano. Si tratta di un intervento che presenta diversi periodi di realizzazione, in quanto si compone di un mix di operazioni portate avanti in diversi periodi e da differenti progettisti.



Figura I.1.44. Progetto Bercy-Charenton
Fonte immagine: parigi.fr

La forma rettangolare del parco determina la direzione principale e afferma l'identità del sito, bordato a nord dal ministero e dal Palais Omnisport, sottolineato dalla riva della Senna. La rete stradale preesistente costituisce l'incunabolo per tessere una trama rigorosa di spazi pubblici, articolati secondo due direzioni: quella ortogonale delle strade e quella obliqua e più stretta delle strade che una volta collegavano i depositi vinicoli. Per quanto riguarda le abitazioni, all'architetto Jean Pierre Buffi viene affidato il compito di garantire una coerenza d'insieme, ma ogni progettista coinvolto riceve l'incarico di realizzare un tessuto urbano con edifici disposti sia sul fronte del parco che sul filo stradale retrostante, in maniera tale da includere anche vuoti, i cortili, le cesure, i giardini semi-privati, rendendo possibile in tal modo la gestione di rapporti da facciata a facciata.

Inoltre, nel 2014 è stata ristrutturato il Palazzo dello Sport di Parigi-Bercy (Palais Omnisport), costituendo un esempio di impianto sportivo coperto polifunzionale francese. Si tratta di un intervento che presenta diversi periodi di realizzazione, in quanto si compone di un mix di operazioni portate avanti in diversi periodi e da differenti progettisti.

Un nuovo progetto sembra voler estendere i confini della trasformazione: il settore Bercy-Charenton copre circa 80 ettari a sud del 12° arrondissement di Parigi, tra Parigi, Charenton-le-Pont, la Senna e il Bois de Vincennes. Questo territorio è intercluso da infrastrutture pesanti: rete ferroviaria, tangenziale, svincolo A4, ecc. L'obiettivo è riuscire ad accogliere circa 3.500 abitanti e 3.900 posti di lavoro in questo nuovo quartiere. Saranno inoltre realizzati 6.000 mq di negozi e 12.000 mq di strutture pubbliche (asili nido, scuole e impianti sportivi).

CLICHY-BATIGNOLLES

La scala e l'ambizione dell'eco-quartiere di Clichy-Batignolles lo inserisce tra i principali progetti urbani in corso nell'area parigina. Si sta sviluppando su 54 ettari nell'ex scalo ferroviario della SNCF nel nord del quartiere di Batignolles. Quest'area a uso misto è incentrata sul parco Martin Luther King, uno dei più grandi di Parigi. La prima sezione del parco è stata aperta al pubblico nel 2007, e il resto è stato completato insieme a quasi tutti i progetti immobiliari. La conclusione del progetto entro il 2023, comprende circa 7.500 residenti e 12.700 posti di lavoro nell'eco-distretto.

Green Office® Enjoy è la denominazione registrata del progetto, che riesce a interpretare più di altri le ambizioni "eco" del quartiere. Nelle parole degli architetti, si tratta del "primo complesso per uffici a Parigi capace di produrre più energia di quella che consuma", una performance certamente ottima a cui contribuiscono non solo i 1.700 metri quadri di pannelli solari posizionati in copertura, ma anche la struttura interamente in legno, che già in fase di costruzione ha permesso un risparmio di circa 2.900 tonnellate di CO².

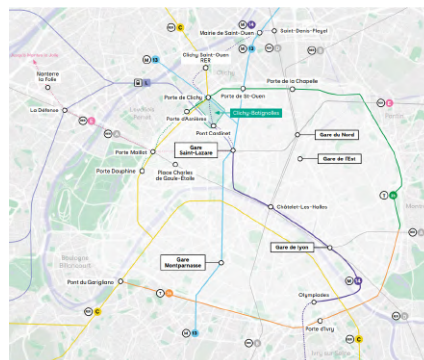


Figura I.1.45. Collegamenti fra trasporto pubblico e l'area di Clichy-Batignolles

Fonte immagine: parismetropole-amenagement.fr



Figura I.1.46. Vista aerea dell'eco-quartiere di Clichy-Batignolles

Fonte immagine: artribune.com



Figura I.1.47. Vista dell'ecoquartiere
Fonte immagine: parismetropole-amenagement.fr



Figura I.1.48. Claude-Bernard nel complesso Paris-Nord-Est

Fonte immagine: Agence F. Leclercq



Figura I.1.49. Vista degli edifici del settore Claude-Bernard

Fonte immagine: Photo Vincent Fillon

CLAUDE BERNARD

Primo settore operativo della grande area metropolitana del Nord-Est di Parigi, lo ZAC Claude Bernard è circondato da una rete di infrastrutture. La presenza di queste grandi infrastrutture e la ricchezza della programmazione del quartiere hanno richiesto un nuovo approccio alla densità e alla compattezza.

Gli edifici per uffici costituiscono una barriera acustica per gli edifici abitativi, che sono arretrati rispetto alla tangenziale. Questi quattro blocchi misti di abitazioni e attività, che si aprono su Boulevard Macdonald, si distinguono per l'estrema compattezza, che crea un vero e proprio mix funzionale all'interno di ogni edificio. Le soluzioni formali consentono di aprire il più possibile questi blocchi, moltiplicando le viste sui giardini e sul cuore dell'isolato. Particolare attenzione è stata dedicata agli spazi essenziali per la vita sociale del futuro quartiere, con la creazione di locali artigianali o commerciali ai piani terreni. Lungo la circonvallazione, un "bosco lineare" di 18.000 m² si collega al centro commerciale Emile Bollaert. È dotato di una valle, che riceve l'acqua piovana raccolta sulle isole lungo il fiume e di una pista ciclabile tra la Porte d'Aubervilliers e il canale Saint-Denis.

Questi esempi di trasformazione urbana hanno permesso di comprendere e identificare delle linee guida di sviluppo del contesto parigino. In tal senso, è possibile visualizzare la catena di rigenerazioni urbane che hanno avuto o stanno avendo luogo all'interno della città, le loro divergenze e i punti in comune di ognuna, al fine di meglio caratterizzare la ZAC Gare de Mines-Fillettes e l'intervento progettuale su di essa.

02

GIOCHI OLIMPICI 2024

2.1. INTRODUZIONE

Un secolo dopo averli accolti per l'ultima volta nel 1924, Parigi ospiterà nel 2024 i Giochi Olimpici (dal 26 luglio all'11 agosto) e i Giochi Paralimpici (dal 28 agosto all'8 settembre), organizzati dal Comitato Organizzatore dei Giochi Olimpici (COJO). Convalidato dal Consiglio di amministrazione il 17 dicembre 2020, il progetto è stato realizzato in collaborazione con le autorità locali, le federazioni sportive internazionali olimpiche e paralimpiche, il CIO (Comitato Olimpico Internazionale) e l'IPC (Comitato Paralimpico Internazionale).

2.2. VILLAGGIO OLIMPICO

Situato a circa 7 km a nord del centro di Parigi, in corrispondenza dei comuni di Saint-Denis, Ile Saint-Denis e Saint-Ouen e a meno di 5 minuti dallo Stade de France, il Villaggio Olimpico sarà l'epicentro del progetto di Parigi 2024.

Esso comprende tre aree principali:

- la Piazza del Villaggio Olimpico, una zona internazionale aperta sulla Senna;
- un'area residenziale intorno alla Cité du Cinéma;
- un'area operativa collegata alle reti stradali (A86 e A1).



Figura I.2.1. Logo dei Giochi Olimpici e Paralimpici di Parigi 2024
Fonte immagine: paris2024.org



Figura I.2.2. Il Villaggio Olimpico
Fonte immagine: paris2024.org

Il villaggio sarà poi servito dal futuro nodo della metropolitana della Grande Parigi (2 linee RER e 5 linee metropolitane).

Compreso in un raggio di 500 m, la compattezza del villaggio lo rende funzionale e ideale per gli atleti. Infatti, oltre a coloro che si allenano nelle sedi di gara, il 100% degli atleti si allenerà a meno di 20 minuti dal Villaggio, e il 60% si allenerà all'interno del Villaggio stesso. Una delle priorità dell'intero progetto dei Giochi è stata quindi la compattezza e l'accessibilità, riunendo 21 sport olimpici (su 32) e 14 sport paralimpici (su 22) in un raggio di 10 km intorno al Villaggio. L'85% degli atleti sarà quindi ospitato a meno di 30 minuti dalla sede di gara.

2.3. SITI DELLA COMPETIZIONE

Riferimento tavola 02

La condivisione delle sedi di gara tra i Giochi Olimpici e Paralimpici è stata un'altra priorità, così come la riduzione al minimo delle sedi temporanee e l'utilizzo di molte sedi esistenti, ovvero il 95% delle infrastrutture utilizzate durante i Giochi.

L'unico sito dei Giochi di Parigi 2024 costruito per l'evento sarà l'Adidas Arena, situata nell'ambito di progetto della ZAC Gare des Mines-Fillettes. Ospiterà gli eventi di badminton e ginnastica ritmica dei Giochi Olimpici, nonché gli eventi di para badminton e sollevamento pesi dei Giochi Paralimpici. Lo sport di alto livello sarà già presente all'Arena dalla sua apertura nel 2023, con competizioni sportive a livello nazionale o internazionale, Paris Basketball in residence, ma vi saranno organizzati anche concerti, spettacoli e congressi. Il sito sarà inoltre aperto allo sport locale e agli abitanti del quartiere integrando palestre per le esigenze locali.

Nella città di Parigi è stato fatto molto affidamento quindi sull'utilizzo di strutture esistenti, le quali possono essere differenziate a seconda della necessità o meno di eseguire lavori di adeguamento permanenti.

2.3.1. STRUTTURE CHE NECESSITANO DI LAVORI PERMANENTI

- Stadio Roland-Garros: presso la corte di Suzanne-Lenglen verrà costruito un tetto retrattile per ospitare le competizioni olimpiche di pugilato e servirà sia per proteggere il campo e le tribune dalla pioggia e dal vento, ma anche per evitare le ombre, potenzialmente fastidiose per i giocatori. Nel complesso sono in programma: tennis e boxe per i Giochi Olimpici; tennis in sedia a rotelle e pallavolo seduto per i Giochi Paralimpici.
- Stade Pierre-de-Coubertin: questo palazzetto dello sport, emblema del patrimonio sportivo parigino, dispone attualmente di 4.000 posti a sedere. Sarà rinnovato in occasione dei Giochi Olimpici e Paralimpici di Parigi 2024 al fine di migliorare le condizioni di accoglienza e accessibilità per il pubblico e gli atleti, essendo in programma le gare paralimpiche di pallamano.

- Grand Palais: costruito per l'Esposizione Universale di Parigi del 1900 e famoso in tutto il mondo per la sua magnifica navata e il suo tetto di vetro, il Grand Palais, che non aveva mai beneficiato di un restauro completo, è attualmente in fase di restauro e riaprirà nel 2024 per ospitare i Giochi Olimpici e Paralimpici nella navata centrale. Avranno sede, infatti, le gare di scherma e taekwondo per i Giochi Olimpici, mentre per i Giochi Paralimpici scherma su sedia a rotelle e para-taekwondo.



Figura I.2.3. Grand Palais

Fonte immagine: paris2024.org

2.3.2. STRUTTURE CHE NON NECESSITANO DI LAVORI PERMANENTI

- Accor Arena: dalla sua costruzione nel 1984, l'Arena ha svolto due principali funzioni: da un lato, un grande luogo dove si sono svolte le più grandi competizioni sportive e, dall'altro, uno dei principali palchi da concerto in Francia. Per i Giochi del 2024 ospiterà molte gare di ginnastica, le fasi finali dei tornei di basket femminile e maschile, nonché il torneo di basket in sedia a rotelle maschile e femminile.
- Parc des Princes: costruito nella sua forma attuale nel 1972 e progettato dall'architetto Robert Taillibert, il "Parc" è stato il più grande stadio del Paese fino alla costruzione dello Stade de France nel 1998. Ospiterà le gare di calcio femminile e maschile dei Giochi Olimpici, e in particolare le due finali di queste competizioni.
- South Paris Arena 1-4-6: le South Paris Arena (1-4-6) fanno parte di Paris Expo, un centro espositivo e congressuale tra i più attivi in Europa e più visitati in Francia. I tre padiglioni ospiteranno diverse gare: pallavolo e bocce nell'Arena 1, ping pong e para-ping pong nell'Arena 4, sollevamento pesi e basket nell'Arena 6.

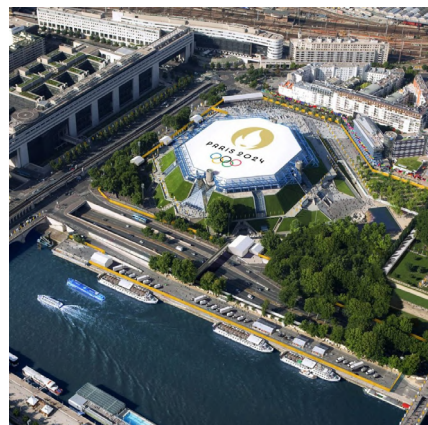


Figura I.2.4. Accor Arena

Fonte immagine: paris2024.org



Figura I.2.5. Parc des Princes

Fonte immagine: paris2024.org

2.3.3. LUOGHI ICONICI

Oltre all'utilizzo di strutture esistenti, i luoghi iconici della città saranno trasformati in arene sportive temporanee per arricchire l'esperienza degli spettatori e valorizzare il gesto sportivo, tra i quali:

- Concorde, che ospiterà le gare di skateboard, basket 3X3, BMX freestyle e break;
- Esplanade des Invalides, dove si svolgeranno le gare di tiro con l'arco e para-tiro con l'arco;
- Champ-de-Mars, dove è stato costruito il padiglione temporaneo Grand Palais Éphémère che ospiterà le competizioni di judo e di lotta;
- Tour Eiffel, ai piedi della quale avranno luogo le gare di beach volley;
- Pont d'Iéna, dove si svolgeranno le gare di triathlon, nuoto in acque libere, atletica leggera (maratona e camminata), ciclismo e para triathlon.

La Senna inoltre sarà protagonista della cerimonia di apertura, che per la prima volta nella storia dei Giochi Olimpici e Paralimpici si svolgerà al di fuori di uno stadio. Animazioni, installazioni, performance artistiche che celebrano lo sport e la città si svolgeranno nel cuore di questa cornice fluviale. L'ultimo atto, al Trocadéro e nella zona della Tour Eiffel, sarà dedicato al protocollo finale e alle sequenze artistiche.

I Giochi di Parigi 2024 coinvolgono però non solo Parigi e il dipartimento di Seine-Saint-Denis, ma si espandono in tutta la Francia. Il torneo di calcio si svolgerà in sei stadi provinciali: Bordeaux, Nantes, Lione, Saint-Etienne, Nizza e Marsiglia. Tutte le partite di pallamano si disputeranno nella metropoli europea di Lille, mentre la vela si svolgerà sul Mediterraneo a Marsiglia. Per la prima volta nella storia, i Giochi beneficeranno anche dell'estero, con il sito di Teahupo'o a Tahiti, teatro della gara olimpica di surf.



Figura I.2.6. Cerimonia di apertura sulla Senna

Fonte immagine: paris2024.org

03

XVIII
ARRODISSEMENT

3.1. TESSUTO URBANO

Per quanto riguarda il paesaggio urbano, nel XVIII arrondissement dominante è la Butte (collina) di Montmartre. La sua sommità non è più alta della parte superiore della di Belleville o di Ménilmontant, ma la sua piccolezza e il suo isolamento la fanno spiccare nel paesaggio parigino grazie al monumento che la incorona. La Butte è incorniciata da quattro percorsi monumentali i boulevard di Clichy e di Rochechouart (ex recinto dei Fermiers Généraux), i viali di Clichy e Saint-Ouen, Boulevard Barbès e Rue Ordener. La forza del rilievo conferisce un carattere particolare al carattere alle strade che seguono le linee di contorno (in particolare le vie Custine e Caulaincourt e l'avenue Junot a nord e a ovest) o a quelle che scendono lungo il percorso (rue de la Bonne, rue des Saules, Girardon, Mont-Cenis, Ravignan o de la Mire).

La vista sul centro di Parigi o sulla periferia settentrionale fanno sentire la differente altitudine (135m), come da Place des Abbesses o, naturalmente, dalla piazza del Sacro Cuore. Altri punti di riferimento si trovano nelle vicinanze delle reti ferroviarie e gli ingressi a Parigi dall'autostrada A1. Una serie di piccoli spazi singolari, piazze o scalinate, circondano la cima della Butte. I monumenti sono pochi, ma il Sacré-Cœur è uno dei più suggestivi e visibili di Parigi.

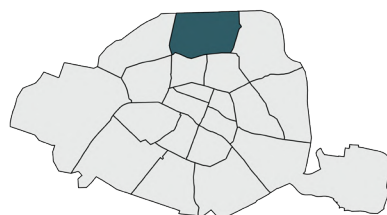


Figura I.3.1. XVIII arrondissement
Fonte immagine: paris.fr



Figura I.3.2. Strada XVIII arrondissement
Fonte immagine: paris.fr

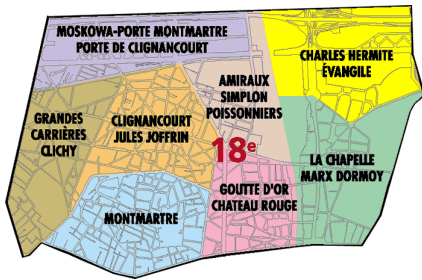


Figura I.3.3. Zone XVIII arrondissement

Fonte immagine: paris.fr



Figura I.3.4. Butte Montmatre

Fonte immagine: paris.fr



Figura I.3.5. Le Goutte d'Or

Fonte immagine: paris.fr

Le chiese che caratterizzano questo arrondissement sono Notre-Dame-de-Clignancourt, Saint-Pierre e Saint-Jean de Monmartre. Le piantumazioni lineari delimitano tutti i percorsi monumentali e i percorsi monumentali citati, in particolare la parte settentrionale della rue de la Chapelle e della sua rotonda centrale (traccia dell'antica avenue de Saint-Denis). Il principale giardino pubblico è la Villette, situata sul pendio sotto il Sacro Cuore. Una decina di piazze punteggiano la zona, come ad esempio piazze che costellano l'area, come quella in cima della Goutte-d'Or, (Square Léon), la Square de Clignancourt e la straordinaria Piazza Carpeaux, progettata a Y. La cima della Butte conserva alcuni giardini privati. I giardini pubblici e i campi sportivi occupano la fascia esterna della cintura della fascia esterna della cintura dei boulevards des Maréchaux.

Il rilievo segna il carattere dei tessuti urbani del quartiere. La parte superiore, la Butte Montmartre, un sito fragile situato su ex cave, ospita solo case e piccoli edifici di 2 o 3 piani. Dal punto in cui il pendio risulta meno ripido, il quartiere inizia a densificarsi. Vi sono fortemente presenti i condomini, allineati lungo le strade dei quartieri residenziali che seguono le curve di livello (rue Custine, d'Orsel) o scendono lungo il pendio (rue des Martyrs, rue Dancourt, rue Ramey, o anche rue des Saules dove le scale danno il luogo un carattere molto pittoresco). Costituiscono, con le suddivisioni dei principali percorsi trafitti nel XIX secolo come rue Damrémont, rue Caulaincourt e rue Lamarck, il complesso residenziale Carpeaux e le costruzioni lungo boulevard Barbès e Ornano, tessuti urbani continui, regolari, a volte composti, ma molto omogenei.

Nelle vecchie periferie e nei villaggi con tracciati meno regolari, i tessuti urbani sono più composti, soprattutto in luoghi particolari, come il quartiere Chapelle, incuneato tra le linee ferroviarie (rue Lepic, Philippe-de-Girard) o la Goutte d'O distretto. Altri tessuti composti sono di origine rurale, si trovano principalmente lungo le vie Marx-Dormoy, de la Chapelle, des Poissonniers, du Poteau e i viali di Clichy e Saint-Ouen. A nord-ovest, questa originaria struttura rurale ha creato un insieme di strade e piccoli appezzamenti che oggi ospitano ancora vecchie abitazioni operaie che costituiscono un tessuto urbano composto.

A nord, i tessuti discontinui, dedicati ai magazzini ai margini delle linee ferroviarie, sono in graduale riduzione, in particolare dalla costruzione di un nuovo quartiere che ospita alloggi, attrezzature e un grande capannone logistico nel sito della Chapelle. Questi sono tutti situati nelle aree intorno alle stazioni delle ferrovie settentrionali e orientali, il deposito della RATP (tra Rue Championnet e Boulevard Ney), cioè a tessuti industriali. Diverse composizioni centrate e focalizzate (sistemi di blocchi triangolari aperti) occupano la cintura di tra boulevard Ney, da un lato, e le René-Binet e Charles-Hermite dall'altro. Lungo la cintura dei Maréchaux, ci sono campi sportivi, punteggiati da torri e bar.

Il 18° arrondissement è il più interessato dai grandi progetti di rinnovamento urbano che interessano ampi settori del suo territorio. Sono stati consegnati diciotto interventi di sviluppo riguardanti il tessuto suburbano. Seguono una logica di trasformazione avviata da decenni: la riduzione degli alloggi antigienici.

Gli interventi in corso riguardano grandi progetti di sviluppo di nuovi quartieri attraverso la riqualificazione di vasti siti industriali e ferroviari dismessi. Questa dinamica di rinnovamento urbano è sostenuta in 11 settori GPRU dalle autorità pubbliche (Porte Montmartre, Porte de Clignancourt, Porte des Poissonniers e Paris Nord-Est). Questi progetti, per la loro localizzazione periferica, uniscono tematiche legate al rinnovamento dell'infrastruttura ferroviaria, alla riqualificazione degli spazi pubblici e alla realizzazione di grandi ZAC che comprendono complessi residenziali, grandi strutture e uffici. Dopo l'estensione della linea 12 a Front Populaire, la costruzione del tram T3 su Boulevard Ney, consegnata nel 2018, è un importante inizio per i cambiamenti che verranno in quest'area. Tra i progetti intrapresi vi sono Chapelle-International in fase di completamento, il campus Condorcet, l'Arena 2 e la Gare des Mines. Infine, sono in fase di avvio importanti operazioni come Ordener-Poissonniers o Hébert, dopo un processo di urbanizzazione temporanea.

3.2. CENNI STORICI

La storia urbanistica del 18° arrondissement inizia in realtà con il recinto dei Fermiers Généraux, cioè alla fine del XVIII secolo, quando furono tracciati i viali di Clichy, Rochechouart e La Chapelle. Prima di allora, i territori di Montmartre e La Chapelle erano occupati solo da tre villaggi: Montmartre, sulla collinetta; Clignancourt e La Chapelle nella piana di Saint-Denis. Sono attraversati da strade rurali che risalgono la Butte (collina) Montmartre e che collegano al resto di Parigi. Esiste anche un percorso trasversale, lo "chemin des Bœufs", che corre da ovest a est (rue de La Jonquière, rue Marcadet e rue Riquet), che collega Clichy, Clignancourt, La Chapelle e La Villette. La Villette era l'unica strada tracciata e piantumata, infatti in questo periodo l'area è coperta di campi, vigneti e cave (Montmartre).

La presenza del recinto dei Fermiers Généraux dall'inizio del XIX secolo ebbe una doppia conseguenza. La prima fu lo sviluppo e l'urbanizzazione dei viali di Clichy e di Saint-Ouen a ovest. Mentre la seconda fu l'urbanizzazione delle strade di Clignancourt, Ramey e Marx-Dormoy con la comparsa di complessi residenziali nel sud dell'arrondissement, vicino a Parigi ("village d'Orsel"). Nella seconda metà del Secondo Impero, il quartiere all'inizio della Terza Repubblica e il distretto a livello di urbanizzazione non ha avuto grandi svolte, tranne che per l'eccezione dei boulevard Barbès e Ornano. Questo è stato compensato dall'apertura di una rete di strade di grandi strade rettilinee (Damrémont, Montcalm e Montcalm).

Due fenomeni caratterizzano la seconda metà del XIX secolo:

- l'urbanizzazione del vasto territorio delle cave di Montmartre da parte di complessi residenziali, la Goutte d'Or e la zona sud di Clignancourt, in cui si trova il quartiere e dove le cave avevano fatto scomparire ogni traccia di vecchie strade e appezzamenti di terreno;
- la creazione di grandi aree di servizio nel comune della Chapelle con lo sviluppo delle compagnie ferroviarie (reti settentrionali e orientali), dei gasometri (ora CAP18) e delle compagnie di omnibus (RATP).

Al centro del quartiere è stato costruito un gruppo di strutture intorno a Place Jules Joffrin, con una chiesa, il municipio, le scuole, la biblioteca e, più tardi, un giardino pubblico (Square de Clignancourt).

La Butte Montmartre e le sue pendici si sono urbanizzate in modo disomogeneo e secondo schemi irregolari, che conferisce il carattere pittoresco del villaggio di Montmartre, mentre i complessi residenziali più regolari con layout sofisticati e continuano a occupare il quartiere, nelle strade di Suez, Panama, Eugène-Sue e Simart (1879-1882).

A nord, i complessi residenziali operai che hanno iniziato a sorgere negli anni '30 e '40 in un'area ancora rurale si stanno espandendo e diventando più densi (Moskowa, Simplon). I progetti di edilizia residenziale del periodo tra le due guerre hanno una presenza limitata ma significativa nel quartiere, con due progetti (rue de la Ville).

Dall'ultima guerra, si è assistito a due fenomeni:

- un movimento edilizio molto importante, nella zona nord-ovest del distretto e a contatto con i binari della ferrovia, che si realizza in modo frammentario per sostituzione, su lotti di terreno che sono generalmente industriali;
- la trasformazione di grandi aree di servizio, con l'urbanizzazione lungo la rue des Poissonniers e la creazione dei magazzini Calberson lungo il Boulevard Ney e lo sviluppo del parco commerciale "CAP 18" all'inizio degli anni '70. Lo sviluppo del parco avvenne all'inizio degli anni '80 sul sito degli ex gasometri, e quello del nuovo quartiere di abitazioni e attrezzature negli anni '80-'90.

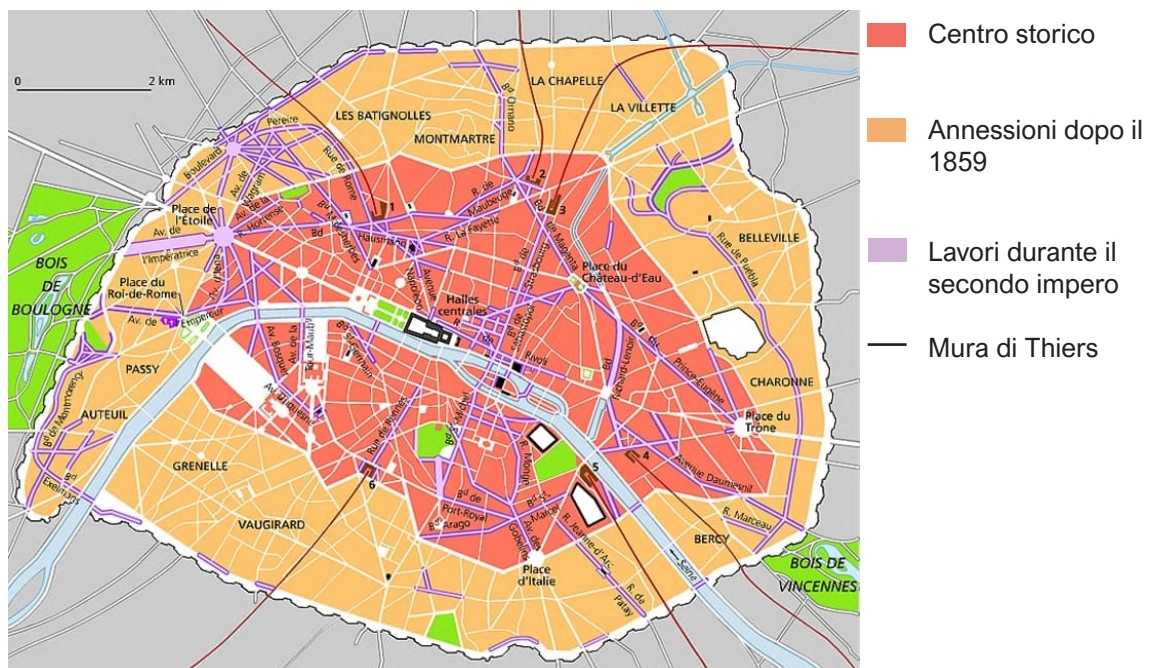


Figura I.3.6. Annessioni dopo il piano Haussmann

Fonte immagine: larousse.fr

3.3. SPORT, VERDE E MOBILITÀ LENTA

Riferimento tavola 03

3.3.1. SPORT

Parigi offre un'ampia scelta di attività con un'estesa rete di impianti sportivi sparsi per tutto il territorio; inoltre la città si prepara ad ospitare le Olimpiadi del 2024, perciò l'aspetto sportivo offre una base importante per la città e in particolare per il XVIII arrondissement. Nell'analisi si è deciso di considerare solo le principali discipline sportive, mentre non sono state analizzate le attività che presentano meno di 100 impianti nella capitale.

Di seguito vengono specificate le varie attività racchiuse nelle macrocategorie elencate in legenda:

- la categoria dei campetti di sport di squadra comprende: piccoli stadi cittadini, campi da calcio, campi da basket, campi da beach-volley, campi di palla a mano e campi da pallavolo.
- la categoria dei grandi impianti dedicati agli sport di squadra comprende: campi da football, campi da rugby, campi di football americano, campi da baseball/softball, campi da cricket e campi da hockey su ghiaccio.
- la categoria dei campi da tennis comprende: campi da tennis al chiuso, coperti all'esterno, scopribili e all'esterno.
- la categoria delle sale multisport comprende spazi attrezzati per ospitare più discipline sportive, tra cui: attività fitness, arti marziali, danza, arrampicata, ginnastica, attività con tavola (skateboard, snowboard...), basket, football, palla a mano, tennis, tennis da tavolo, pallavolo e badminton.
- la categoria degli sport a corpo libero comprende: sale di danza, palestre per pattinaggio a rotelle, palestre con trampolino elastico e sale per la scherma.
- La categoria degli sport di combattimento comprende: palestre di arti marziali, sale di boxe e di lotta libera.
- la categoria dei campi di atletica comprende le discipline di: piste per la corsa, area di lancio del peso e giavellotto, area di salto in lungo e salto in alto.
- la categoria piscine comprende spazi per: nuoto, immersione e attività ricreative.

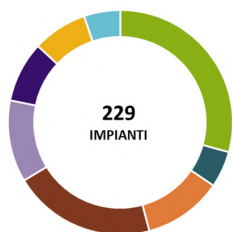


Figura I.3.7. Principali attività sportive XVIII e XIX arrondissement

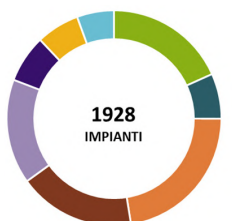


Figura I.3.8. Principali attività sportive Parigi

- Campetto per sport di squadra
- Grande impianto per sport di squadra
- Campo da tennis
- Sala multisport
- Spazi per sport a corpo libero
- Spazi per sport di combattimento
- Campo di atletica
- Impianto con piscina



Figura I.3.9. Una delle numerose Folies di Tschumi all'interno della Villette

Fonte immagine: modulo.net



Figura I.3.10. Parc des Buttes-Chaumont

Fonte immagine: humanite.fr



Figura I.3.11. Parc Georges Valbon

Fonte immagine: telerama.fr

3.3.2. VERDE

Con il 17,4% della sua superficie ricoperta di vegetazione (circa 104 ettari), il 18° arrondissement ha un'area verde minore rispetto alla media parigina, molto diversa invece è la situazione del 19° arrondissement che risulta essere il terzo arrondissement più vegetato (bosco escluso) con il 26,4 % della sua superficie ricoperta da vegetazione (circa 178 ettari).

Nel 18° distretto ci sono 53 parchi e giardini aperti al pubblico per una superficie totale di 22,7 ettari; mentre nel 19° arrondissement ci sono 37 parchi e giardini aperti al pubblico per un totale di 75,4 ettari.

Il Parc de la Villette, tra i più rinominati di Parigi e a poca distanza dal XVIII arrondissement, si estende per 55 ettari tra la Porte de la Villette e la Porte de Pantin nel XIX arrondissement. La Villette fu ideato dal celebre architetto svizzero Bernard Tschumi e inaugurato nel 1991. Questo magnifico parco include: due musei, un'arena con 6300 posti; la Grande Halle, spazio dedicato a fiere ed eventi e una serie di architettura dipinte di rosso chiamate Folies.

Nel cuore del 19° arrondissement si trova anche il Parc des Buttes-Chaumont, uno dei più amati parchi pubblici di Parigi. Il parco copre un'importante fetta dell'area nord-est della città, con una superficie verde di più di 24 ettari, andando a classificarsi come uno dei giardini più grandi della metropoli francese insieme al Parc de la Villette e al Jardin des Tuileries.

Un parco fondamentale situato al di fuori di Parigi, ma di fondamentale importanza per le Olimpiadi è il parco dipartimentale Georges-Valbon, comunemente noto come parco La Courneuve, al terzo posto tra i parchi e i boschi della regione parigina in termini di dimensioni, con una superficie di 417 ettari.

La Courneuve avrà un importante ruolo in occasione Giochi olimpici 2024 in quanto ospiterà il Media Village, indispensabile per permettere ai giornalisti di lavorare insieme alla loro redazione durante le Olimpiadi. Il villaggio sarà infatti situato a Dugny, un comune collocato ai margini del parco Georges-Valbon.

Per quanto riguarda invece i percorsi verdi connessi al VXIII arrondissement, in primo luogo si individuano le sponde del Fiume Senna, con percorsi che si snodano all'interno della città e permettono agli amanti dello sport di godersi il paesaggio immersi nel verde mentre si tengono in forma.

Tra questi è interessante ricordare la *Coulée verte*, un lungo spazio verde adibito a passeggiata pedonale distribuito nel XII arrondissement. Il percorso, che si estende per 4,7 chilometri da Place de la Bastille fino al Boulevard périphérique, è situato sul tracciato di una vecchia linea ferroviaria dismessa che costeggia la Senna.

La passeggiata è affiancata da una pista ciclabile al livello della strada in modo tale da creare un passaggio riservato alle biciclette.

3.3.3. CICLABILE

Grazie ai miglioramenti intrapresi dalla Città di Parigi da diversi anni, la capitale francese è diventata un paradiso per gli amanti della bicicletta: ben 1.000 chilometri di piste ciclabili sono attualmente disponibili e si sono andati anche all'interno del XVIII arrondissement.

“Le principali vie di scorrimento sono ora accessibili in sicurezza ai ciclisti, come la rue de Rivoli o l'avenue degli Champs-Élysées, per non parlare del Parco Rives de Seine che da solo vanta 10 ettari suddivisi sulle due banchine della Senna e che sono in permanenza riservati ai pedoni e alla circolazione lenta” (Ente del Turismo e dei Congressi).

Per incentivare l'utilizzo della bicicletta sono distribuiti dei servizi volti al noleggio della bicicletta e agevolazioni che prevedono il rimborso del 50% delle spese per l'abbonamento legate allo spostamento per raggiungere il luogo di lavoro.

Inoltre, sono presenti delle iniziative come quelle organizzate dall'associazione Paris Rando Vélo, che prevedono pedalate gratuite dall'Hotel de Ville, con la presenza di uno staff atto a bloccare le vie e assicurare a tutti un percorso sicuro.



Figura I.3.12. Spazi pedonali che percorrono la Senna
Fonte immagine: theguardian.com

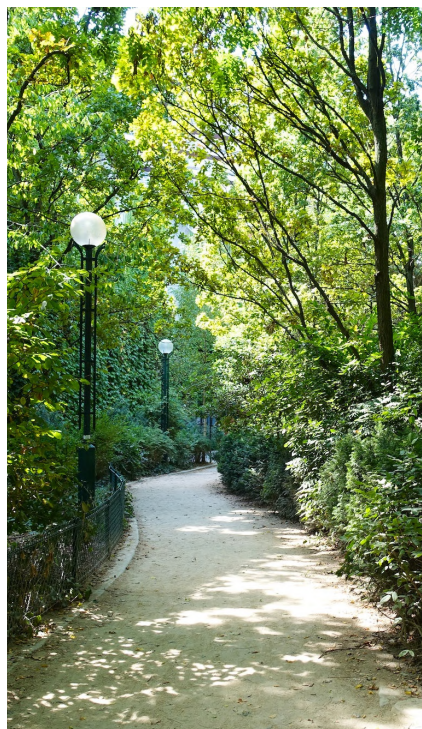


Figura I.3.13. *Coulée Verte*
Fonte immagine: timeout.fr



Figura I.3.14. *Coulée Verte*
Fonte immagine: paris.fr

3.4. MOBILITÀ, SERVIZI E CITTÀ DEI 15 MINUTI

Riferimento tavola 04

3.4.1. TRASPORTI

Il XVIII e XIX arrondissement sono ben allacciati al sistema della mobilità di Parigi grazie all'estesa rete di trasporti. I due quartieri sono serviti dalle linee 2, 4, 5, 7 e 12 della metropolitana che passano in maggior numero per il centro di Parigi costituendo un collegamento importante sia al centro della vita parigina che ai maggiori punti di interesse francese.

Molte stazioni della Linea 2 sono vicine ad attrazioni turistiche molto rinomate ed interessanti, quali ad esempio l'Arc de Triomphe de l'Étoile, il Cimitero di Père-Lachaise, il Moulin Rouge, Pigalle e la Avenue Foch. La linea due ha un percorso molto esteso che collega gli arrondissement più esterni da ovest passando per nord e arrivando a est.

La Linea 4 vanta il primato di passare per stazioni di interscambio con tutte le altre linee della metropolitana, eccetto la Linea 3 bis e la Linea 4 bis; la linea è molto frequentata anche perché passa per tre grandi stazioni ferroviarie parigine: la Gare Montparnasse, la Gare du Nord e la Gare de l'Est. La linea 4, inoltre, collega con luoghi rinomati quali Notre Dame de Paris, il Quartiere Latino ed il quartiere di Montparnasse.

La linea 5 passa per la Bastiglia, l'Opéra Bastille, il Parc de la Villette, la Gare du Nord e la Gare de l'Est.

La linea 7 permette di raggiungere comodamente l'Opéra Garnier (cartina Opéra Garnier) e il Quartiere Latino.

La linea 12 è importante in quanto arriva al Museo d'Orsay, alla Place de la Concorde e collega al quartiere Montparnasse e alla Torre Maine-Montparnasse come la linea 4.

Per quanto riguarda la RER è presente la linea B che percorre l'intero centro di Parigi e la linea D che, passando dal centro, collega direttamente il XVIII e XIX arrondissement con l'aeroporto Charles de Gaulle e il centro di Parigi.

I servizi dell'area sono per la maggior parte situati lungo le principali vie servite dalla stazione della metro in quanto rappresenta il principale mezzo di movimento all'interno di Parigi. In merito all'accessibilità al trasporto pubblico, nel 2016, l'83,2% della popolazione vive a meno di 500 metri da una metropolitana/tram e a 1000 metri da una RER/treno; inoltre, riguardo all'accessibilità agli spazi verdi nel 2018 il 98,9% della popolazione vive a meno di 500 metri da uno spazio verde pubblico.

Nell'ambito di un processo di riequilibrio dello spazio pubblico a favore di pedoni e ciclisti, prosegue nel 18° la generalizzazione delle zone a traffico limitato (zona 30, zona di ritrovo, area pedonale, via della scuola o via verde). Attualmente ci sono molte 30 zone nell'arrondissement, come i distretti di Butte Montmartre, Sempione o Poissonniers. L'obiettivo finale è spostare tutta Parigi, tranne gli assi principali, nella zona 30.

3.4.2. SERVIZI

In relazione all’accessibilità di spazi attrattivi e servizi il 18° si adatta perfettamente alla definizione della città dei 15 minuti, garantendo il raggiungimento tramite mezzi di trasporto pubblico o mezzi propri. La situazione risulta pressoché simile anche per il 19° arrondissement.

Attrezzature (in grassetto le attrezzature ubicate nel comune)	Trasporto pubblico	auto	Attrezzature (in grassetto le attrezzature ubicate nel comune)	Trasporto pubblico	auto
BASILIQUE DU SACRÉ-COEUR DE MONTMARTRE Site ou monument Paris 18e Arrondissement	< 10 min	< 10 min	HU ROBERT DEBRE APHP Établissement hospitalier Paris 19e Arrondissement	< 10 min	< 10 min
HU SAINT LOUIS SITE LARIBOISIÈRE APHP Établissement hospitalier Paris 10e Arrondissement	< 10 min	< 10 min	LA PHILHARMONIE Lieu de diffusion du spectacle vivant (théâtre, danse, cirque...) Paris 19e Arrondissement	< 20 min	< 10 min
CLINIQUE TURIN Établissement hospitalier Paris 8e Arrondissement	< 10 min	< 10 min	THÉÂTRE NATIONAL DE LA COLLINE Lieu de diffusion du spectacle vivant (théâtre, danse, cirque...) Paris 20e Arrondissement	< 20 min	< 20 min
ESPE - ÉCOLE SUPÉRIEURE DU PROFESSORAT ET DE L'ÉDUCATION DE PARIS (SITE BATIGNOLLES) Établissement d'enseignement supérieur (hors lycées) Paris 17e Arrondissement	< 10 min	< 10 min	LE ZÉNITH DE PARIS Lieu de diffusion du spectacle vivant (théâtre, danse, cirque...) Paris 19e Arrondissement	< 20 min	< 10 min
CITADIUM - JOUR Commerce et service Paris 9e Arrondissement	< 10 min	< 20 min	PHILHARMONIE DE PARIS Musée ou autre lieu d'exposition Paris 19e Arrondissement	< 20 min	< 10 min

Figura I.3.15. Accessibilità nel 18° (a sinistra) e 19° arrondissement (a destra)

Fonte: IGN, Île-de-France Mobilités, Paris Region Institute

Nell’equipometro vengono messe in evidenza gli indicatori principali atti a definire il confronto fra il 18° arrondissement e il resto della città di Parigi. Stessa comparazione viene fatta anche per il 19°. Dal grafico a radar emerge come le categorie di livello educativo, istruzione e professione siano superiori a livello percentuale rispetto al resto di Parigi, inoltre vi è una maggioranza percentuale rispetto all’intera città per la tipologia di commercio di prossimità.

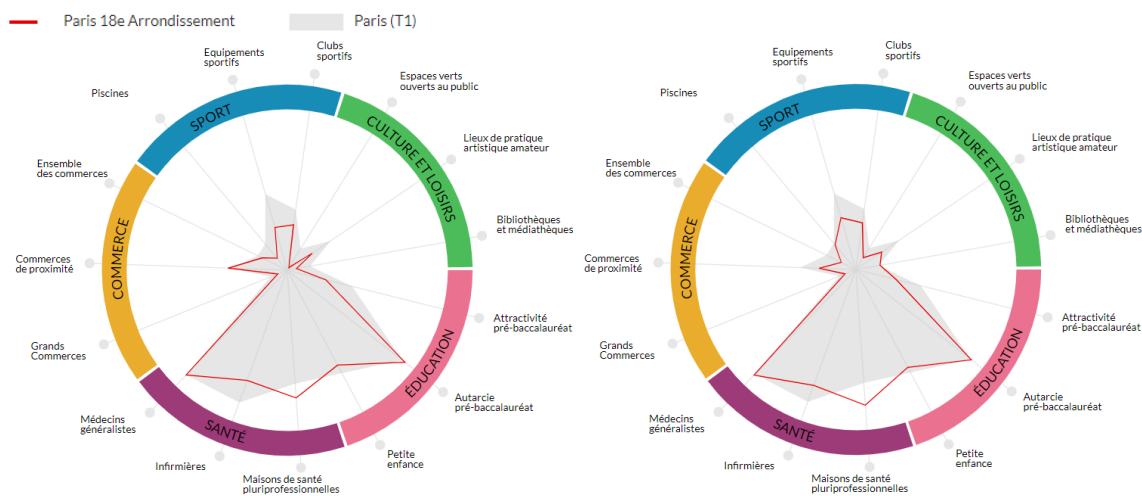


Figura I.3.16. Equipometro nel 18° (a sinistra) e 19° arrondissement (a destra) anno 2021

Fonte: Apur

3.4.3. STRUTTURE RICETTIVE

Il 18° arrondissement conta 93 hotel e altre strutture ricettive turistiche, ovvero 5.670 camere d'albergo, concentrate principalmente nella parte occidentale intorno alla collina di Montmartre, rue Lepic, rue des Abbesses. Nell'arrondissement la densità dell'offerta ricettiva è moderata (16 alloggi per km² rispetto ai 21 di Parigi) e la dimensione media degli stabilimenti è superiore alla media parigina (61 camere per hotel).

3.4.4. CENTRI DI EDUCAZIONE

Delle 114.900 persone che lavorano nel 18° arrondissement (popolazione attiva), il 41% sono dirigenti e professioni intellettuali superiori. Sebbene questa percentuale sia significativa (16% dei dirigenti in Francia), è inferiore alla media parigina che è del 46%. Al contrario, dipendenti e lavoratori di età pari o superiore a 15 anni rappresentano il 30% della popolazione attiva. Rispetto al censimento dell'Insee del 2018 gli studenti residenti nel comune di età compresa tra 15 e 29 anni, in possesso di un diploma di maturità o superiore e iscritti ad un istituto di istruzione, risultano essere 7,2% degli abitanti. Incrociando questi dati con la composizione dei nuclei familiari che popolano l'arrondissement, si nota che il 53,3% delle famiglie è composto da una sola persona: è possibile intuire come si tratti di un quartiere "giovane" e che si compone di lavoratori principalmente pendolari, che si servono della folta rete di mobilità per raggiungere il luogo di lavoro. L'affitto è il principale metodo di acquisto di un alloggio: 64,1% delle famiglie ha affittato un alloggio (sociale + alloggi privati), favorendo anche cohousing e coworking.

Il vicino 19° arrondissement vanta invece il maggior numero di dipendenti e lavoratori, rispettivamente 26% dipendenti e 11% lavoratori (19% e 7% in media a Parigi). Il 19° è quindi l'unico arrondissement di Parigi che ha più lavoratori e impiegati che dirigenti e professioni intellettuali superiori (queste ultime sono il 46% a Parigi e il 34% nel 19°).

3.4.5. SPAZI COMMERCIALI

A favore del commercio sono destinate numerose misure del PLU (Plan Local d'Urbanisme) che prevede tre tipologie di misure di tutela che rientrano nell'obiettivo della diversità delle funzioni e mira a "garantire il mantenimento della vita e l'animazione dei distretti:

- strade a tutela del commercio e dell'artigianato lungo le quali i locali commerciali o artigianali al piano terra prospiciente la strada devono rimanere attività commerciali o artigianali;
- strade a presidio rinforzato per il commercio e l'artigianato lungo le quali è previsto anche che i nuovi locali al piano terra fronte strada siano destinati al commercio o all'artigianato;
- percorsi a tutela speciale per l'artigianato lungo i quali l'artigianato non può essere trasformato in altra destinazione e le imprese possono solo trasformarsi in commercio o artigianato."

Tutto ciò concorre a garantire la diversità di spazi commerciali e favorire la creazione di nuove polarità di servizi all'interno del 18° e 19° arrondissement.

3.5. DEMOGRAFIA

Riferimento tavola 05

3.5.1. ETÀ E POPOLAZIONE ATTIVA

Il 18° arrondissement ospita 193.665 abitanti (ovvero l'8,9% della popolazione parigina per il 6,9% dell'area). È uno dei quartieri più densamente popolati della capitale dopo l'11° e il 20°: si contano 323 abitanti per ettaro contro i 250 in media di Parigi, e questo nonostante la presenza di vaste strutture (ferrovie, strutture sportive e ospedaliere, cimitero di Montmartre).

Da come emerge nel Diagnostic et prévisions territorial del PLU: "Dopo un aumento medio annuo di abitanti di circa +1,3% tra il 2006 e il 2011 (2° tasso di crescita più alto a Parigi nel periodo), la popolazione dell'arrondissement è in calo rispetto al periodo più recente (-0,7% annuo). Ciò è in linea con la tendenza parigina (-0,5% di popolazione all'anno in media a Parigi)." L'andamento della popolazione diverge a seconda dei distretti: mentre la popolazione è in diminuzione nella parte settentrionale del distretto di Goutte d'Or, è in aumento a Montmartre.

Ogni giorno nel distretto sono presenti 202.300 persone (lavoratori, studenti, visitatori), senza contare i turisti. Ad eccezione del nord del quartiere di Chapelle, che ospita l'area commerciale CAP 18, il 18° è un quartiere piuttosto residenziale. L'ambiente è caratterizzato dalla gioventù della sua popolazione. L'età media degli abitanti dell'arrondissement è la terza più bassa di Parigi, dopo il 10° e 9° arrondissement. Più di una famiglia su due (53%) è composta da una sola persona, principalmente giovani lavoratori. Le persone di età pari o superiore a 65 anni sono relativamente poche: con 25.900, rappresentano il 13% della popolazione, contro il 17% di Parigi (quota più bassa nella capitale), e sono presenti principalmente nel quartiere di Montmartre.

Il vicino 19° arrondissement vanta invece il "maggior numero di dipendenti e lavoratori, rispettivamente 26% dipendenti e 11% lavoratori (19% e 7% in media a Parigi)" secondo il PLU. Il 19° è quindi l'unico arrondissement di Parigi che ha più lavoratori e impiegati che dirigenti e professioni intellettuali superiori (queste ultime sono il 46% a Parigi e il 34% nel 19°).

3.5.2. REDDITO, LAVORO E SALARI

Il reddito medio dei residenti è di 22.022 euro per unità di consumo, mentre a Parigi la media è di 28.440 euro. Questo colloca il 18° tra i distretti con minor reddito della capitale, insieme al 19° e 20°; si tratta infatti di quartieri di edilizia sociale che accolgono famiglie a reddito medio-basso. Tuttavia, i livelli di reddito degli abitanti dell'arrondissement variano notevolmente da un quartiere all'altro. Le famiglie che vivono nei distretti politici della città di Portes du 18 e Goutte d'Or hanno livelli di risorse molto bassi. Al contrario, la Butte Montmartre è abitata da famiglie molto benestanti. A Parigi, solo il 14° e il 17° arrondissement registrano tali differenze nei livelli di reddito. Mentre, nel 19° arrondissement il reddito medio dei residenti è il più basso di Parigi: 19.170 euro, rispetto ai 28.440 euro di Parigi (e ai 47.728 euro del 7°, il più ricco arrondissement).

Molti abitanti del 18° arrondissement si trovano in una situazione di povertà: il 21% della popolazione dell'arrondissement (6 punti in più rispetto a Parigi in media e la seconda percentuale più alta dopo il 19°) e il 12,7% dei lavoratori, ovvero 14.500 persone, si sono dichiarati disoccupati nel 2017.

Il 18 è un distretto piuttosto residenziale, ha il secondo tasso di occupazione più basso di Parigi dopo il 20°: 0,77 posti di lavoro per un lavoratore residente contro 1,51 a Parigi. Tuttavia, dal 2007 si osserva un aumento del numero di posti di lavoro in tutto il 18° arrondissement. L'occupazione è prevalentemente concentrata al sud, al confine con il 9° arrondissement (tra i 400 e 600 salariati stimati per ettaro). Il 18° si distingue anche per la presenza dell'unico centro commerciale di Parigi, Cap 18, situato nel nord-est dell'arrondissement.

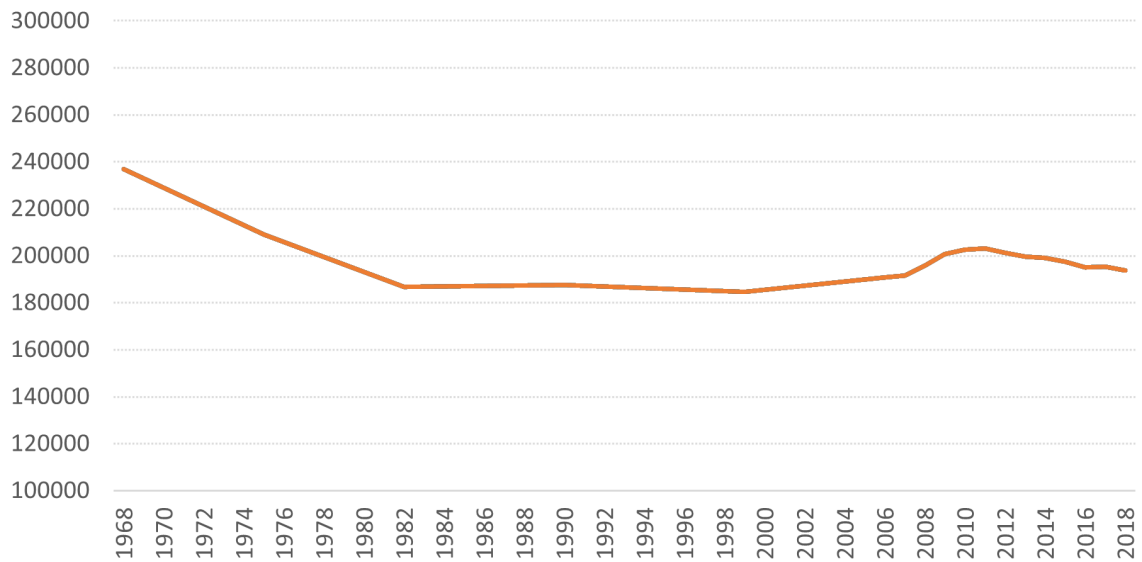


Figura I.3.17. Evoluzione della popolazione dal 1968 al 2018

Fonte: Censimenti Insee

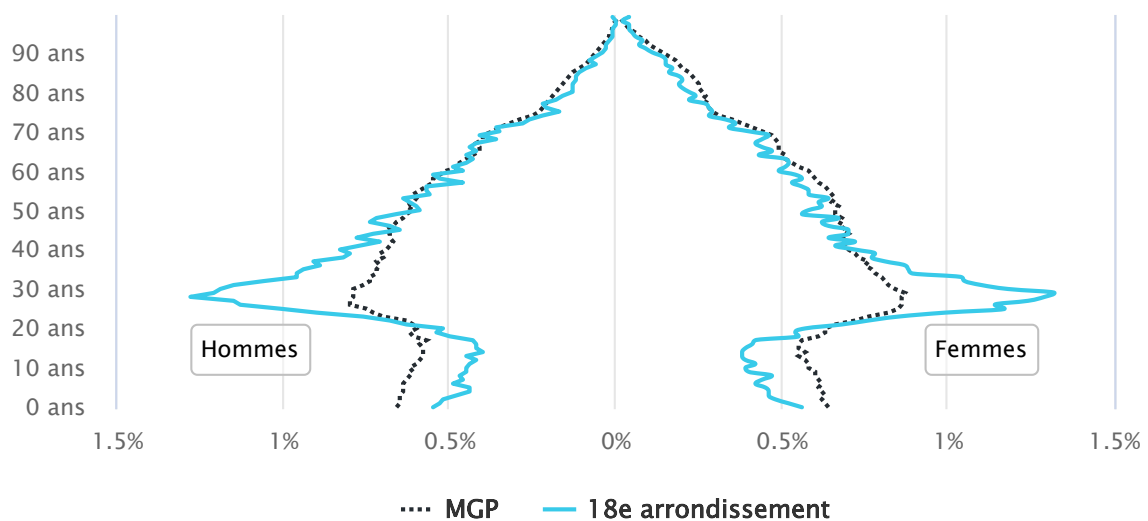


Figura I.3.18. Piramide delle età della popolazione, Censimento anno 2018

Fonte: Apur

Si stima che ci siano più di 2 abitanti per un lavoro in tutti i distretti, ad eccezione di alcuni settori (grandi magazzini, settori legati alle strutture sportive e ospedaliere).

Se il commercio è il settore di attività che fornisce il maggior numero di posti di lavoro (9.600 posti di lavoro, pari all'11%), anche la salute e i trasporti sono fortemente rappresentati. L'AP-HP (in particolare l'ospedale Bichat) e la RATP sono i due maggiori datori di lavoro dell'arrondissement.

A sostegno dei numerosi negozi di tessuti e del piccolo artigianato presente nel quartiere, negli ultimi anni sono emersi luoghi di creazione e innovazione dedicati a questo settore: come la produzione di bottoni nelle officine dell'hotel industriale Cap 18 e soprattutto le boutique e le officine di stilisti su rue des Gardes. Il 18^{eme} ospita molte attività solidali e sostenibili; un importante centro di innovazione in questo campo è stato sviluppato da Paris&Co.

Il patrimonio edilizio del 18° arrondissement è caratterizzato dalla presenza di edifici suburbani. Questi antichi edifici, di modesta qualità, sono costituiti principalmente da piccole abitazioni. Ci sono il 24% dei monolocali e il 39% del T2 (rispetto al 23% e al 32% in media di Parigi) e solo il 13% degli alloggi con 4 o più stanze. Con piccole abitazioni e una grande popolazione, sono frequenti i problemi di sovraffollamento, così come la povertà abitativa. Tra il 2006 e il 2017 il numero di unità abitative è aumentato allo stesso ritmo dell'edilizia parigina (+3,2% e +3,6% in media per Parigi). Tra il 2006 e il 2017 sono state costruite in totale 4.708 unità abitative; sono distribuite in tutto l'arrondissement, in particolare nel distretto di Goutte d'Or a seguito di operazioni per combattere l'insalubrità.

Il quartiere ospita più del doppio degli abitanti rispetto ai posti di lavoro (193.700 abitanti e 87.600 posti di lavoro). Ci sono solo 0,77 posti di lavoro per residente attivo, ovvero il secondo tasso di occupazione più basso a Parigi, dove la media è di 1,5 e, a titolo di confronto, 0,89 nelle periferie interne.

L'equilibrio tra alloggi e occupazione è rimasto abbastanza stabile dagli anni 2000 in tutto l'arrondissement. Tuttavia, c'è un rafforzamento del carattere residenziale dei quartieri centrali situati su entrambi i lati della collina di Montmartre. I quartieri misti che avevano tanti abitanti quanti posti di lavoro (Marcadet-Poissonniers o Château Rouge per esempio) sono ora principalmente orientati verso l'edilizia abitativa. Tale sviluppo si spiega con l'elevata produzione di alloggi sociali a partire dal 2001 nonché con i numerosi interventi di ristrutturazione di abitazioni degradate che hanno consentito di riqualificare edifici malsani, alcuni dei quali temporaneamente vuoti (demoliti o in costruzione) nel 2006.

Solo la parte meridionale del XVIII arrondissement, al confine con il 9° arrondissement, è diventata un po' più mista. Infatti, negli ultimi anni, il quartiere a sud della collina di Montmartre, molto frequentato dai turisti, ha registrato sia un aumento del numero di posti di lavoro che un aumento del numero di abitazioni non occupate (residenze secondarie e abitazioni sfitte) che porta a un calo del numero di residenti permanenti.

A livello di arrondissement, tra il 2006 e il 2017 sono stati creati 1.300 nuovi posti di lavoro, ovvero un aumento significativamente inferiore alla media parigina (+1,6% contro il +4% medio di Parigi) mentre il numero di abitanti è aumentato del +2,2% rispetto al stesso periodo (+0,3% per Parigi).

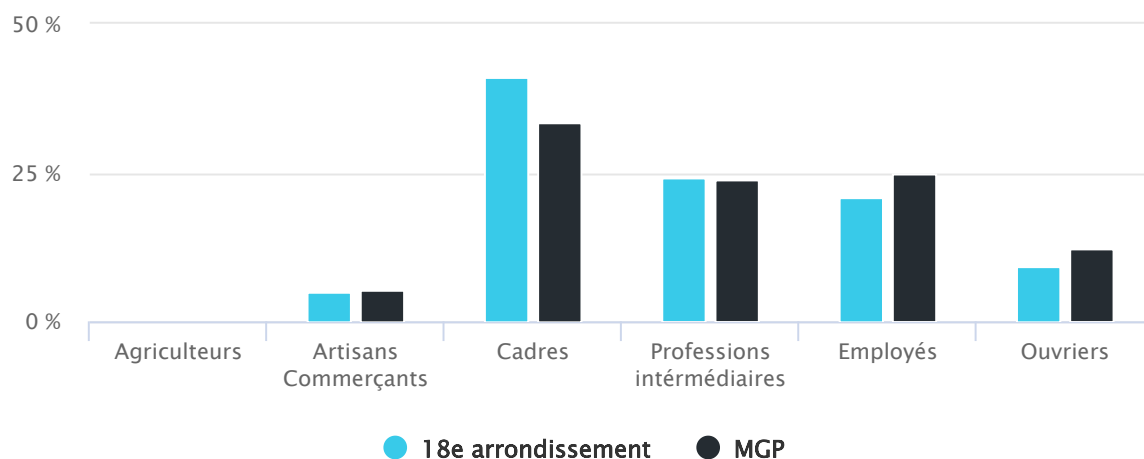


Figura I.3.19. Popolazione attiva per categorie socioprofessionali, Censimento anno 2018
Fonte: Apur

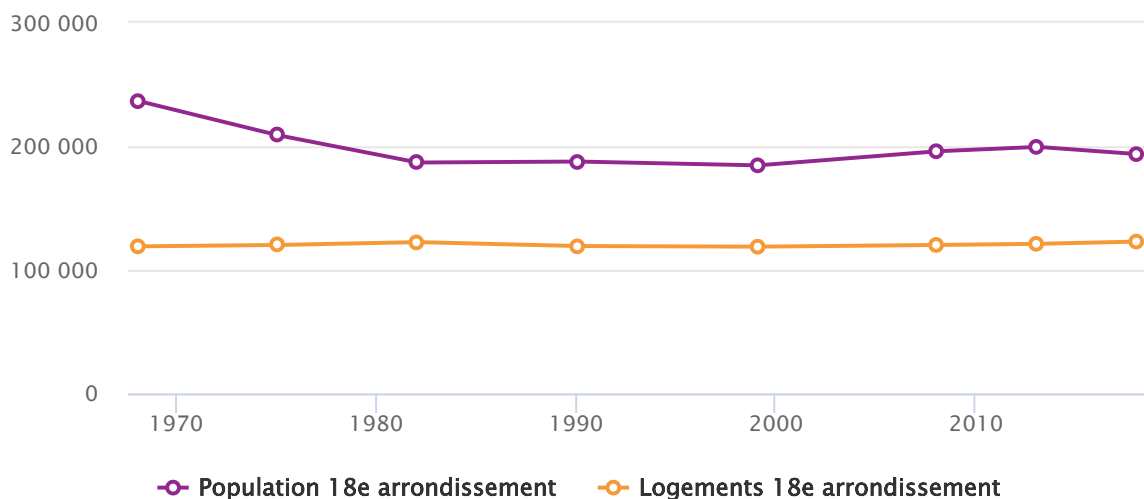


Figura I.3.20. Evoluzione del numero di abitanti e degli alloggi, Censimento anno 2018
Fonte: Apur

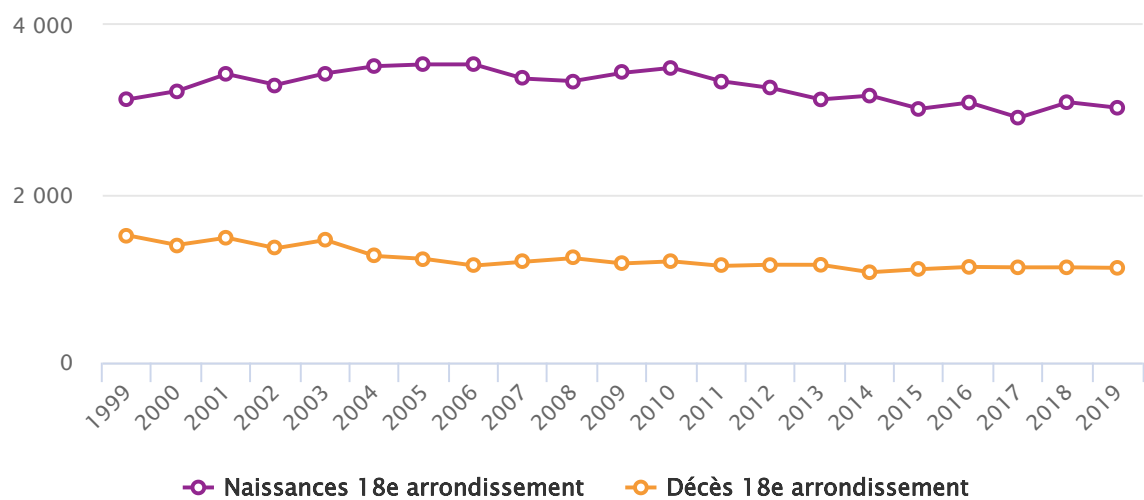


Figura I.3.21. Saldo naturale della popolazione, Censimento della anno 2018
Fonte: Apur

3.6. RISORSE

Riferimento tavola 06

3.6.1. SPORT

Parigi offre un'ampia scelta di spazi tra cui scegliere per svolgere attività fisica, con una fitta rete di impianti distribuiti omogeneamente in tutta la città e che possono essere raggiunti facilmente grazie all'efficiente servizio di metropolitana di Parigi. Nonostante l'ottima qualità dei servizi presenti, la città non smette di migliorarsi grazie alla realizzazione del GPE, trattato successivamente, che collegherà direttamente quasi 2000 impianti sportivi, 650 dei quali, oltre un terzo, si trovano in quartieri che beneficeranno di servizi di trasporto pubblico completamente nuovi.

Un altro passo avanti al fine di migliorare la qualità delle aree sportive è il *Projet d'aménagement et de développement durable* (progetto di pianificazione e sviluppo urbano) redatto dal PLU nel 2018 con l'obiettivo di migliorare l'isolamento acustico degli impianti comunali ed in particolare degli impianti sportivi esistenti che, a causa dei loro lunghi orari di apertura, possono essere fonte di disagio per gli abitanti situati nelle zone adiacenti.

3.6.2. VERDE

Contrariamente a quanto si crede, la capitale francese è ricca di spazi verdi in cui è possibile rilassarsi durante tutte le stagioni e che attraggono migliaia di turisti. All'interno della città vi sono parchi in cui è possibile svolgere attività sportive e grandi viali verdi, come le sponde della Senna, chiuse al traffico dei veicoli che creano una bellissima pista da corsa.

Parigi, inoltre, come la maggior parte delle metropoli soffre del fenomeno dell'isola di calore, una sorta di cappa provocata dalla somma di cemento, asfalto, emissioni nocive di mezzi di trasporto, impianti industriali e sistemi di aria condizionata, che porta i centri urbani a registrare temperature molto più alte rispetto alle aree rurali circostanti. In questo panorama la vegetazione svolge un ruolo fondamentale in quanto permette di abbassare la temperatura dell'ambiente circostante tramite l'evapotraspirazione degli alberi. Inoltre, le piante agiscono come un depuratore perché il suolo è in grado di filtrare alcune sostanze nocive contenute nelle acque piovane, restituendole più purificate.

3.6.3. TRASPORTI

Come già detto nei paragrafi precedenti, il XVIII e XIX arrondissement sono ben collegati al cuore della capitale francese, tramite un'ampia e diversificata rete di trasporti. La metropolitana rappresenta il miglior modo di spostarsi all'interno del territorio garantendo puntualità e sicurezza, infatti c'è un treno ogni 4-8 minuti e in generale si stima che l'indice di criminalità sia molto basso.

Un altro aspetto da considerare quando si parla di mobilità è l'accessibilità a tutti i tipi di utenze cercando di limitare al minimo i disagi durante il viaggio. Sfortunatamente la metropolitana di Parigi non è pienamente accessibile in quanto rampe e ascensori non sono sempre presenti o funzionanti in tutte le stazioni. La Linea 14 è la sola metropolitana

ad essere completamente priva di barriere architettoniche.

La rete dei treni RER, invece, è attrezzata meglio. Non accessibile del tutto ma la maggior parte delle stazioni mette a disposizione ascensori e passaggi appositi. Anche nel caso di linee e stazioni del tram vi è piena accessibilità alle persone con disabilità motoria. Le altre reti di trasporto pubblico superficiali di Parigi, in particolare gli autobus, sono molto più accessibili ai passeggeri con mobilità limitata in quanto dotati scivoli speciali che vengono azionati elettricamente dall'autista.

3.6.4. GRAND PARIS EXPRESS

Una grande potenzialità all'interno della capitale parigina è stata la progettazione del Grand Paris Express o GPE che, con 68 nuove stazioni, 4 nuove linee metropolitane (da 15 a 18), 2 linee estese (11 e 14) faciliterà l'accesso alla capitale e gli scambi tra i comuni del territorio intorno a Parigi, infatti si stima l'utilizzo da parte di due o tre milioni di utenti al giorno.

Avviato nel 2010, il GPE ha contribuito in modo significativo nell'assegnazione delle Olimpiadi 2024 in quanto le nuove linee serviranno diversi siti olimpici, compreso il villaggio ufficiale situato vicino alla stazione di Saint-Denis Pleyel. Nodo strategico dei trasporti, sarà all'incrocio tra la linea 14, che fornirà un collegamento diretto all'aeroporto di Orly, e le linee 16 e 17, che permetteranno un facile accesso alla stazione La Courneuve Six-Route, nei pressi della quale si svolgeranno gli eventi di pallanuoto. La stazione di Saint-Denis Pleyel creerà inoltre una connessione allo Stade de France, luogo dove si terranno le cerimonie di apertura e chiusura delle Olimpiadi e gli eventi di atletica leggera. Un altro centro nevralgico dei Giochi Olimpici sarà Le Bourget in quanto il progetto prevede la costruzione di tre arene temporanee che ospiteranno il villaggio dei media e diverse discipline olimpiche (badminton, pallavolo, tiro a segno).

La messa in servizio completa del GPE avverrà tra il 2024 e il 2030.

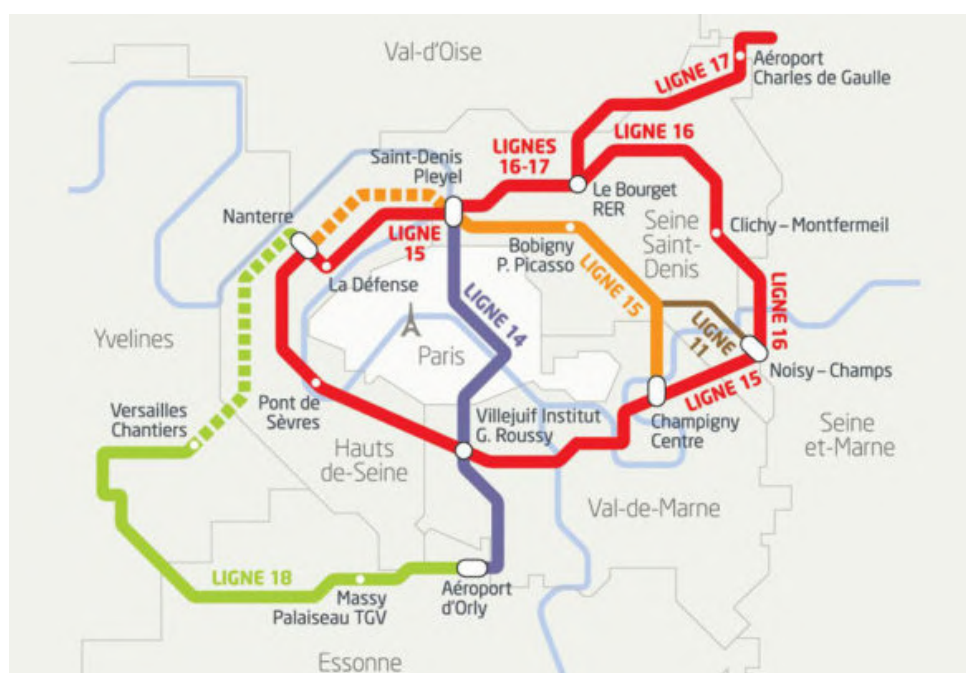


Figura I.3.22. Percorso del Grand Paris Express

Fonte immagine: stm.group.it



Figura I.3.23. I canali di Parigi
Fonte immagine: paris.fr



Figura I.3.24. Porte de La Chapelle
Fonte immagine: uaps.net



Figura I.3.25. Boulevard Périphérique
Fonte immagine: parisetmetropole-ame-

3.7. LIMITI

Riferimento tavola 07

INTRODUZIONE

Avendo studiato numerosi aspetti della città di Parigi e dei suoi dintorni, è stato cruciale sintetizzare i limiti e le restrizioni che sono emerse durante le analisi. In particolare, sono stati riportati in primo luogo gli aspetti fisici del contesto urbano che rappresentano degli ostacoli allo sviluppo; successivamente sono stati riportati i principali vincoli della città di Parigi.

3.7.1. VINCOLI FISICI

Il Canal de l'Ourcq, anche se presenta un basso rischio idrogeologico e non attraversa l'area di progetto, rappresenta un limite importante del contesto parigino e dei suoi dintorni, in quanto con il Canal Saint-Denis, il bacino de La Villette e il Canal Saint-Martin costituisce la rete dei canali di Parigi, lunga 130 km. Questi canali rappresentano un ambito di protezione per la biodiversità del demanio pubblico fluviale e sono stati attuati numerosi interventi per preservare la qualità dell'acqua. Inoltre, rappresentano un patrimonio storico per la città.

Avvicinandosi però all'area di progetto è presente un secondo importante vincolo: la ferrovia. Infatti, le linee RER H, K, D e B da Saint-Denis attraversano il 18° arrondissement fino alla stazione Gare du Nord, mentre la linea E da Pantin raggiunge la stazione Gare de l'Est. Le costruzioni, le installazioni e le opere varie di qualsiasi tipo, ad eccezione delle opere di accessibilità, di igiene, di isolamento acustico o termico o di sicurezza, sono soggette a condizioni e restrizioni.

Ma l'infrastruttura che più di tutte segna una separazione netta tra la città di Parigi e i comuni limitrofi è la Boulevard Périphérique, la tangenziale a forma di anello che circonda la metropoli. Essa si collega all'autostrada A1 tramite il grande svincolo di Porte de la Chapelle e attraversa l'area di progetto dividendola di fatto in due aree.

Oltre ai limiti per quanto riguarda la fascia di ri-

spetto da mantenere con questa importante infrastruttura, 500.000 persone vivono intorno ad essa e sono esposte a un inquinamento acustico e atmosferico molto significativo. 130.000 abitanti respirano un'aria di pessima qualità e 144.000 subiscono il rumore della strada oltre i limiti stabiliti dal codice ambientale per il centro di Parigi. Per questo è stato redatto un piano che entro il 2024 (anno dei Giochi Olimpici) trasformerà la circonvallazione "da una cintura grigia a una cintura verde" e permetterà la riconversione di circa dieci ettari dell'attuale tangenziale parigina a terreno alberato.

Questo piano riguarderà anche le porte storiche della città, tra cui Porte d'Aubervilliers, situata all'incrocio tra il quartiere Pont-de-Flandre nel 19° arrondissement e il quartiere di Chapelle nel 18° arrondissement. Attualmente corrisponde alla rotonda di Place Skanderbeg, situata sopra la tangenziale di Parigi, e diventerà una piazza verde accessibile solo ai pedoni.

Inoltre, come già accennato precedentemente, Parigi e i suoi comuni limitrofi sono ricchi di edifici protetti (lotti di terreno, edifici, parti di edifici, elementi particolari), ovvero di edifici che possiedono alcune tra le seguenti caratteristiche: un'eccezionale qualità architettonica; costituiscono una testimonianza della formazione e della storia della città o di un quartiere; assicurano con il loro volume un particolare punto di riferimento nel paesaggio urbano; appartengono a una sequenza architettonica notevole per la sua omogeneità.

Infine, vi sono numerosi spazi verdi protetti (EVP) che tutelano un insieme paesaggistico esistente su uno o più appezzamenti di terreno, per il suo ruolo nel mantenimento dell'equilibrio ecologico e la sua qualità vegetale o arborea. La modifica dello stato di un terreno soggetto a prescrizione E.V.P. è consentita solo ad alcune particolari condizioni.

3.7.2. DISPOSIZIONI PARTICOLARI

Sono stati individuati tre principali vincoli:

1. Limitazione dei parcheggi: strada su cui è vietata la creazione di un accesso a un parcheggio;
2. Protezione delle linee commerciali e artigianali: queste norme si applicano ai locali al piano terra situati ai margini delle strade segnalate nel piano di tutela del commercio e dell'artigianato;
 - modalità di protezione del commercio e dell'artigianato: è vietata la trasformazione delle superfici commerciali o artigianali al piano terra su strada in una destinazione diversa da quella commerciale o artigianale;
 - strade con protezione rafforzata per il commercio e l'artigianato:
 - è vietata la trasformazione di locali di vendita al dettaglio o artigianali al piano terra sulla strada in una destinazione diversa dalla vendita al dettaglio o artigianale;
 - i locali situati al piano terra sulla strada devono, in caso di costruzione, ricostruzione o riabilitazione pesante, essere destinati al commercio o all'artigianato;
 - strade con una particolare tutela dell'artigianato: è vietata la trasformazione delle superfici artigianali al piano terra su strada; è vietata la trasformazione delle superfici commerciali al piano terra su strada in una destinazione diversa da quella commerciale o artigianale.
3. Piano generale delle altezze: restrizione alle altezze degli edifici in tre fasce: 25, 31 e 37 metri. Sono presenti delle eccezioni in rapporto alla superficie del lotto e al livello ortometrico.

04

GARE DES MINES
- FILLETTES

4.1. INTRODUZIONE

Il perimetro del settore Gare des Mines - Fillettes a Parigi (18ème arrondissement) comprende principalmente terreni di proprietà del Comune di Parigi - essenzialmente gli impianti sportivi dello stadio Fillettes, il quartiere Charles Hermite di case popolari degli anni '30 con il suo complesso scolastico e la piazza, terreni di proprietà della Diocesi di Parigi e la rete stradale pubblica della tangenziale. A nord di quest'ultima si trovano il terreno noto come "Gare des Mines", che appartiene al gruppo SNCF, e l'edificio Valentin Abeille, che confina a ovest con il cimitero parigino di La Chapelle. Relativamente relegato e non riconosciuto, il settore funziona più come "retrovia" isolata a causa delle infrastrutture stradali (autostrada A1, tangenziale, ecc...), che lo attraversano o lo aggirano, che come luogo unificante.

Fino all'annessione a Parigi nel 1860, il settore si estendeva sui comuni di La Chapelle e La Villette, che in precedenza si trovavano fuori Parigi, oltre il muro dei Fermiers Généraux.

I percorsi della Route de Flandres a est e della Route de Saint-Denis a ovest strutturano questo territorio di periferia. La route de Saint-Denis corrisponde oggi all'autostrada A1: è la principale via di trasporto verso il Nord Europa, ricordo dell'antica strada romana per Lutetia.

Ancora oggi, la Porte de la Chapelle è un'import-



Figura I.4.1. Vista dell'area
Fonte immagine: parisetmetropole.fr



Figura I.4.2. Recinto di Thiers
Fonte immagine: paris.fr



Figura I.4.3. Cité Charles Hermite
Fonte immagine: parisetmetropole.fr



Figura I.4.4. Station Gare des Mines
Fonte immagine: parisetmetropole.fr



Figura I.4.5. Vista dell'area
Fonte immagine: paris.fr

tante porta di accesso per merci e persone.

La costruzione del muro dei Fermiers Généraux, tra il 1784 e il 1790, sul tracciato degli attuali viali di Rochechouart e La Chapelle, segnò la prima tappa della parziale integrazione dei sobborghi nelle mura della capitale. La costruzione dei canali dell'Ourcq e di Saint-Denis (nel 1821) favorì l'insediamento di mercati e macelli che beneficiavano dell'accesso alle rive e del collegamento con la Senna attraverso il canale di Saint Martin.

Una seconda fase di cambiamento iniziò con la costruzione, tra il 1840 e il 1841, del recinto di Thiers. Questo fu costruito tra gli attuali viali Ney e Macdonald a sud e la circoscrizione a nord. Le conquiste di Haussmann iniziate sotto la Terza Repubblica e lo sviluppo della rete ferroviaria del Nord e dell'Est intensificarono l'insediamento di impianti industriali e di servizi urbani, compresi i trasporti (società ferroviaria) su vaste aree che creavano confini fisici che la circoscrizione avrebbe rafforzato. È da questo periodo che prende il nome il settore della Gare des Mines: ex stazione di carbone, era un luogo di carico e scarico per le industrie vicine.

Inoltre, all'inizio del XX secolo, l'aumento della popolazione dei quartieri centrali ha spinto la necessità di abitazioni verso i quartieri periferici dove c'erano ancora aree non sviluppate. Il recinto di Thiers, caduto in disuso, fu a sua volta oggetto di un vasto programma di riconversione, iniziato nel 1921 con la sua dismissione, in abitazioni e strutture, in particolare sportive. Un complesso residenziale in mattoni, la "Cité Charles Hermite" fu costruito al margine orientale del XVIII arrondissement, tra Boulevard Ney e l'attuale Boulevard Périphérique.

Attualmente il sito di studio ha una vocazione paesaggistica, ecologica, ricreativa e di svago. La sua apertura verso il cielo è del tutto eccezionale a Parigi; è legata all'importanza delle vie di comunicazione e alle prospettive offerte dai campi da gioco. Le infrastrutture stradali, luoghi di scoperta cinetica del paesaggio, favoriscono fughe visive verso il sito che offre con visivi verso il paesaggio lontano. Alla scala del quartiere, gli impianti sportivi chiusi da recinzioni, la morfologia degli isolati del complesso residenziale Charles Hermite e la presenza del magazzino Ney accentuano invece la percezione di paesaggi chiusi.

4.2. IL BANDO DI CONCORSO

4.2.1. L'AMBITO

Gare des Mines-Fillettes è un settore del 18° arrondissement che si estende per circa 20 ettari confinante con:

- il confine comunale tra Parigi e Plaine Commune a nord;
- Avenue de la porte d'Aubervilliers ad est;
- la corsia bm/18 dello svincolo di Chapelle e lo svincolo stradale di Porte de la Chapelle a ovest;
- Boulevard Ney a sud.

Il sito Gare des Mines-Fillettes costituisce un accesso strategico a nord-est della capitale francese, collegando il quartiere al resto del territorio.

Nonostante la distanza dal centro città, la localizzazione dell'area di studio è comunque caratterizzata da un'ottima interconnessione con le diverse modalità di trasporto pubblico grazie alla prossimità di snodi di trasporto urbano (Rosa Parks, Porte de la Chapelle). Il sito è, inoltre, attraversato dalla Boulevard Périphérique, una strada comunale a scorrimento veloce che circonda quasi tutto il territorio comunale di Parigi grazie alla sua forma ad anello.

L'obiettivo del bando per la ZAC Gare des Mines-Fillettes è sfruttare le potenzialità del sito in modo da creare un nuovo distretto attrattivo che integri questi grandi attraversamenti, dare continuità al territorio e gestire l'alta densità di popolazione intorno al sito.

Gli studi relativi alle possibilità di trasformazione del luogo sono stati commissionati dal Comune di Parigi all'architetto-urbanista MGAU che, in collaborazione con 11 strutture, ha cercato di elaborare delle linee guida urbane operando in armonia con anche altri progetti già presenti nell'area e gli obiettivi fissati dalla città di Parigi.

Tali progetti già avviati sono:

- costruzione di un complesso residenziale ad opera di RATP Habitat;
- realizzazione di uffici e residenze;
- progetto Orée: consiste nella realizzazione di un complesso funerario, da realizzare su una parte dell'attuale Square Forceval;
- la riqualificazione del RD932 rendendolo più sicuro e attuando una riorganizzazione del verde;
- riqualificazione urbana del quartiere Villette Félix Faure;
- progetto dell'eco-quartiere Pantin.

4.2.2. LA STORIA

Nel novembre 2007 il Consiglio di Parigi e quello della comunità dell'agglomerato di Plaine commune hanno adottato un Protocollo relativo al progetto di sviluppo intercomunale "Gare des Mines - Fillettes". Questo progetto mira a stabilire una continuità urbana tra Parigi e Plaine Commune aprendo quartieri precedentemente isolati.

Il progetto è stato poi rilanciato nel 2017 con l'istituzione dell'Arena.

Alla fine del 2017, infatti, il Comitato Olimpico Internazionale (CIO) ha indicato Parigi come città ospitante dei Giochi Olimpici e Paralimpici del 2024. Di conseguenza, è nato il bisogno di trasformare una porzione di città al fine di poter rispondere al grande flusso di persone in vista del 2024; il Comune ha quindi integrato all'interno del bando un Arena presso Porte de La Chapelle e inoltre, ha previsto il riammodernamento degli impianti sportivi esistenti.

Tali cambiamenti hanno reso necessario un nuovo studio urbano al fine di integrare i nuovi orientamenti che possono essere sinteticamente riassunti con la manutenzione degli impianti sportivi e perciò la conseguente riduzione di spazio presente che si è tradotta in una diminuzione della costruibilità prevista; la previsione di un attraversamento pedonale sulla tangenziale presente nell'area.

Sull'area oggetto di studio, prima del 2014 era in atto il Grand Projet de Renouvellement Urbain (GPRU) di Montmartre-Clignancourt che, estendendosi su un'area di oltre 80 ettari, aveva l'obiettivo di predisporre circa 4.300 alloggi al fine di risolvere problematiche sociali e urbane.

La legge sulla "Programmazione per la città e la coesione urbana" promulgata nel 2014 ha affidato all'Agenzia nazionale per il rinnovamento urbano (ANRU) la realizzazione del "Nuovo programma nazionale di rinnovamento urbano" (NPNRU). Il NPNRU proseguirà il rinnovamento di quest'area avviato dal primo GPRU verso est.

Il lavoro del NPNRU (Nuovo Programma Nazionale di Rinnovamento Urbano) delle Portes du 18e si intreccia con quello dell'agenzia Leclercq Associés sul settore Paris Nord-Est Élargi (PNEE).

4.2.3. GLI OBIETTIVI DELL'OPERAZIONE

Nel 2018, prendendo atto del nuovo assetto olimpico, il Comune di Parigi ha elaborato nuovi obiettivi da raggiungere per l'area Gare Des Mines-Fillettes, elencati di seguito:

- Edificazione di un impianto sportivo che contribuirà allo sviluppo del Nord-Est dell'Ile-de-France, rimodernando allo stesso tempo le strutture sportive locali presenti sull'area di studio. L'impianto sportivo, di portata metropolitana, sarà fruibile al quartiere; infatti, l'Arena oltre che ospitare una grande sala eventi, includerà due palestre accessibili a livello locale;
- Riqualificazione della Porte de la Chapelle e della Porte d'Aubervilliers tramite aggiornamento dei percorsi di mobilità lenta e l'installazione dell'Arena alla Porte de la Chapelle insieme alla creazione della relativa piazza dell'Arena;
- Ampliamento della Porte d'Aubervilliers tramite blocchi a uso misto che contribuiranno alla riqualificazione di quest'altra porta di Parigi;
- Inaugurazione del complesso residenziale Charles Hermite e dell'edificio Valentin Abeille introducendo la possibilità convertire alcuni spazi in alloggi per studenti e lavoratori dei vari nuovi complessi edilizi, con il rinvio dei programmi di edilizia familiare sulle nuove costruzioni nella ZAC;
- Creazione di un programma misto abitativo/occupazionale di quartiere con attenzione ai bisogni dei cittadini e ai nuovi abitanti di questo quartiere trasformato;
- Introduzione di un collegamento urbano che attraversi la circonvallazione.

4.2.4. PROGETTO PER LA ZAC GARE DES MINES-FILLETTES

IL PIANO DI SVILUPPO

Il progetto vincitore del bando è ad opera dello studio Leclercq Associés e si fonda sulle seguenti linee di intervento:

- creazione di un mix funzionale all'interno dell'area, in particolare a sud della circonvallazione sono previste abitazioni e alberghi; mentre a nord vi è l'idea dell'introduzione di attività economiche organizzate intorno a cortili produttivi;
- ammodernamento degli impianti sportivi e realizzazione di un'arena in vista dei Giochi Olimpici 2024. La creazione dell'arena e la sua posizione sulla Porte de La Chapelle faranno di questa struttura il punto di riferimento per la trasformazione del quartiere;
- creazione di una piazza dell'Arena in coordinamento con la riprogettazione dello spazio pubblico dell'Avenue de la Porte de la Chapelle. Il piazzale dovrà essere connesso con un centro commerciale ricreativo che potrà accogliere attività sportive all'aperto fino alla Porte d'Aubervilliers. Il centro commerciale ludico si estende per oltre 300 metri tra il piazzale dell'Arena e la nuova Place Charles Hermite fornendo una connessione tra la scala metropolitana e di quartiere;
- trasformazione delle "Porte di Parigi" in "Luoghi della Grande Parigi" per cancellare il più possibile il confine della tangenziale che oggi separa Parigi dai comuni limitrofi;
- realizzazione di nuovo edificio vicino alla Manifattura Chanel, per contribuire al cambiamento di immagine di questo settore;
- creazione di un collegamento stradale che si snodi da est a ovest connettendo l'edificio Valentin Abeille con Charles Hermite;
- mantenere la vocazione naturale e ludica della Cintura Verde di Parigi;
- installazione di uno schermo a nord e a sud della circonvallazione costituito da una foresta lineare in modo da attenuare l'inquinamento ambientale e acustico verso gli impianti sportivi;
- progettazione degli spazi pubblici con l'obiettivo di creare un legame tra i vari quartieri;
- riqualificazione della rete stradale esistente, dove: la rampa della circonvallazione che conduce alla Porte d'Aubervilliers sarà spostata in modo da fare spazio alla foresta lineare distribuita lungo questa anfrastuttura; il Boulevard Ney sarà riqualificato e collegato con Rue Charles Hermite in modo da mettere in sicurezza la circolazione dei bambini davanti alla scuola e per dare la priorità ai pedoni; le strade interne del complesso residenziale Charles Hermite saranno rese percorsi paesaggistici;
- razionalizzazione del posto auto nelle vicinanze del complesso Charles Hermite al fine di ingrandire i marciapiedi e di realizzare aree verdi;
- rimozione delle recinzioni della chiesa Saint-Pierre Saint-Paul e dell'Espace de Glisse Parisien (EGP) in modo da garantire la continuità pedonale e paesaggistica. L'edificio dell'Espace Jeune sarà riqualificato e nuovi edifici contribuiranno all'animazione di questa piazza.

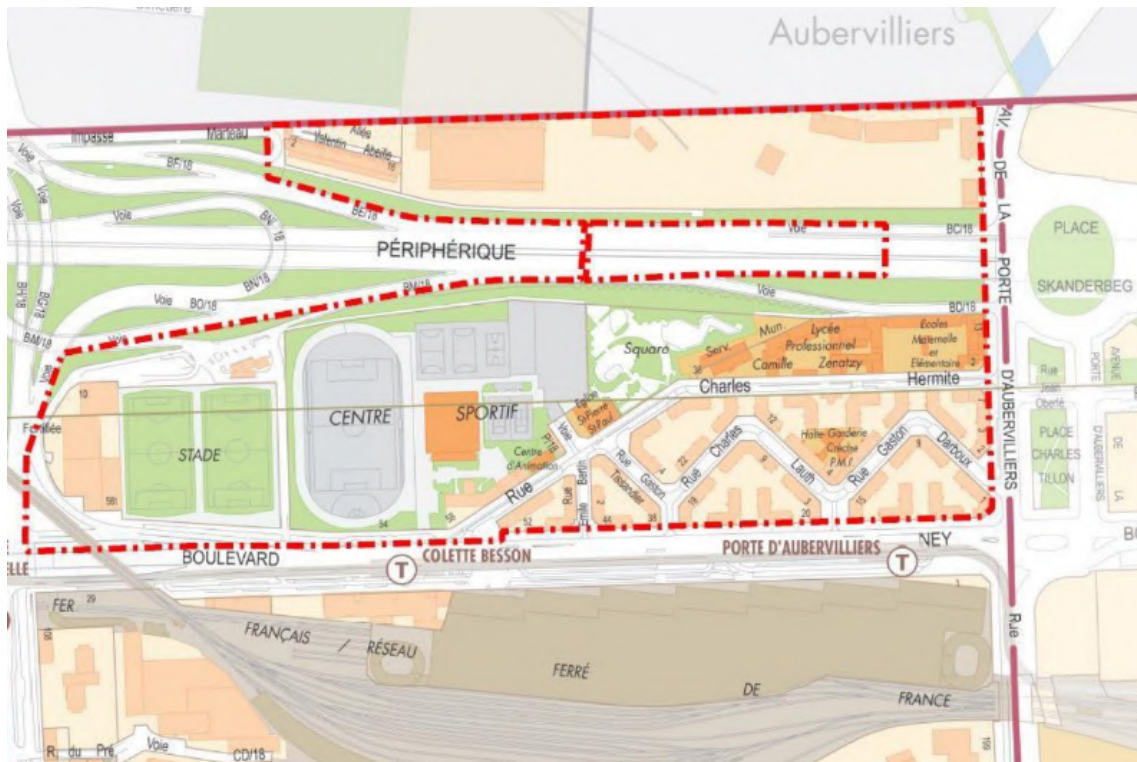


Figura I.4.6. ZAC allo stato attuale
 Fonte immagine: Ville de Paris_Direction de l'Urbanisme



Figura I.4.7. ZAC in seguito al Progetto Urban di Leclercq
 Fonte immagine: Agence Leclercq Associes

- | | |
|--|---------------------------------|
| 1. Piazza dell'Arena | 5. Rue Charles Hermite |
| 2. Collegamento est-ovest | 6. Nuovo collegamento est-ovest |
| 3. Place Charles Hermite | 7. Passerelle pedonali in quota |
| 4. Strade interne della Cité Charles Hermite | 8. Foresta lineare |

IL PROGRAMMA DI COSTRUZIONE COMPLESSIVO

Il programma di costruzione complessivo previsto all'interno della futura ZAC è di circa 150.000 m² di superficie e comprende:

- 41.100 m² di alloggi familiari e speciali, pari a circa 750 abitazioni. Tali alloggi sono suddivisi in 35% alloggi sociali, 22% alloggi intermedi e 43% alloggi in vendita.
- 52.300 m² di spazi per uffici;
- 21.300 m² di attività economiche e produttive;
- 6.200 m² di servizi alberghieri (o di ostelli della gioventù);
- 4.600 m² di negozi, servizi e ristoranti. Al centro del programma ci sarà il requisito della diversità commerciale di qualità;
- 24.500 m² di strutture pubbliche costituite da:
 - arena: un progetto di circa 20.000 m² e 8.000 posti a sedere che comprende una grande sala per eventi e due impianti sportivi locali corrispondenti alla palestra Fillettes ricostruita e alla creazione di una palestra;
 - 600 m² per una struttura per la prima infanzia (48 posti);
 - 900 m² per una struttura culturale;
 - l'intera area sportiva riconfigurata, compresi gli impianti sportivi della sovrastruttura, ossia circa 3.000 m².

Inoltre, saranno preservati l'Espace de Glisse Parisien (EGP), la chiesa Saint-Pierre Saint-Paul e l'Espace Paris Jeunes.

Il nuovo quartiere ospiterà circa 1.200 nuovi abitanti, oltre ai 2.700 attuali, e quasi 4.400 posti di lavoro (esclusi gli edifici esistenti, l'Arena e gli impianti sportivi ricostruiti).

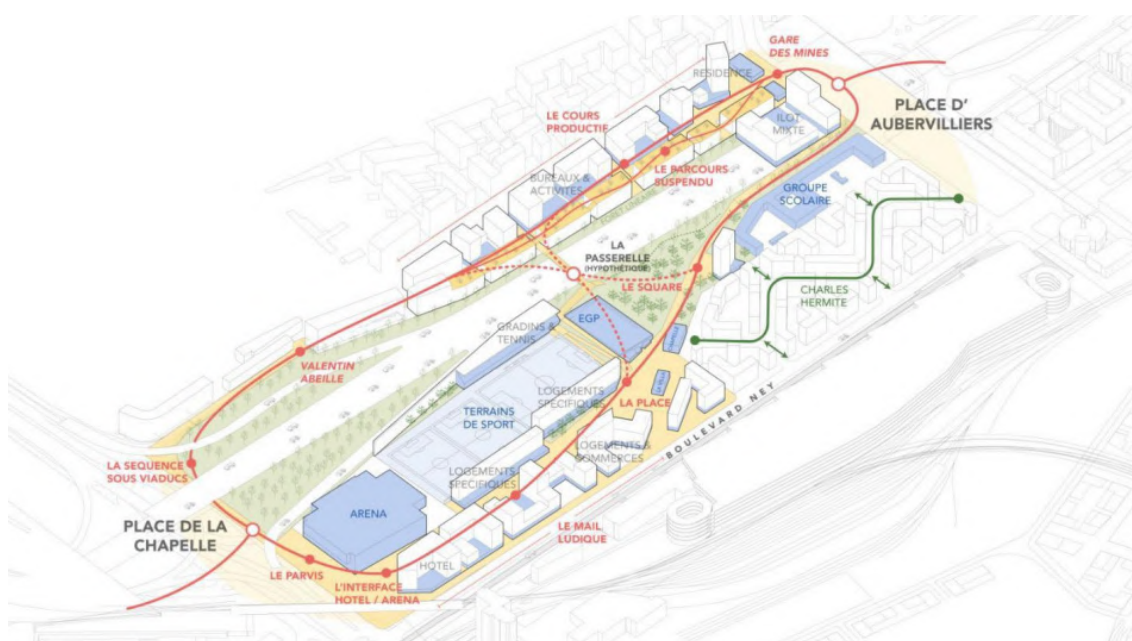


Figura I.4.8. Mappa urbana del Progetto Urban di Leclercq

Fonte immagine: Agence Leclercq Associes

4.3. ANALISI DELL'AREA DI PROGETTO

4.3.1. PIANI DI ZONA - ZAC

Riferimento tavola 08

INTRODUZIONE

Essendo la zona di progetto situata al confine della città di Parigi, è stato utile analizzare non solo il piano urbanistico vigente della zona, ma anche quelli dei comuni limitrofi. Per questo è stata effettuata una analisi di tre diversi piani urbanistici:

- il Piano Urbanistico Locale (PLU) di Parigi;
- il Piano Urbanistico Intercomunale Locale (PLUi) Plane Commune, che comprende i piani urbanistici delle città di Aubervilliers , Épinay-sur-Seine, Villetaneuse, Pierrefitte-sur-Seine e Stains, Ile-Saint-Denis, Saint-Denis, Saint-Ouen e La Courneuve;
- il Piano Urbanistico Intercomunale Locale (PLUi) Est Ensemble, che comprende i piani urbanistici delle città di Pantin, Le Pré Saint-Gervais, Bobigny, Bondy, Noisy-Le-Sec, Les Lilas, Bagnolet, Romainville e Montreuil.

PLU-PARIGI

Il PLU è da un lato un documento strategico che comprende orientamenti sull'evoluzione della città nell'orizzonte di 10-15 anni, dall'altro è anche un documento normativo che regola l'evoluzione dei lotti, in particolare attraverso l'esame di permessi di costruzione e demolizione.

È composto principalmente da tre parti:

- il rapporto di presentazione, che espone la diagnosi della situazione parigina in termini urbani e analizza lo stato attuale dell'ambiente;
- il progetto di pianificazione e sviluppo sostenibile (PADD), che definisce le linee guida urbanistiche di lungo periodo e gli sviluppi selezionati dal comune;
- i regolamenti, che applicano concretamente gli orientamenti del progetto di pianificazione e sviluppo sostenibile con regole generali adattate localmente.

In particolare, nel Volume 1 dei regolamenti vi sono le disposizioni generali applicabili al territorio coperto dal PLU, che stabiliscono la suddivisione in zone del territorio e fissano vari principi attuati nei documenti normativi, seguite dalle norme applicabili nelle zone del PLU, organizzate per ogni zona in 15 articoli. Il territorio di Parigi coperto dal PLU è quindi suddiviso in tre zone urbane e una zona naturale:

1. La zona urbana generale (zona UG)

La zona urbana generale UG copre la maggior parte del territorio parigino, ad eccezione del Bois de Boulogne e del Bois de Vincennes. Per l'applicazione delle norme, il territorio della zona UG è suddiviso ulteriormente in diversi settori:

- il settore più favorevole all'occupazione;
- il settore per la protezione degli alloggi;
- il settore per l'incentivazione di abitazioni miste e dell'occupazione;
- ZAC o area di sviluppo;
- Il settore case e ville.

In particolare, le zone di sviluppo concertato (ZAC) sono aree all'interno delle quali un'autorità pubblica o un ente pubblico decide di intervenire per realizzare o far realizzare lo sviluppo e l'equipaggiamento di servizi dei terreni, in particolare quelli che tale autorità o tale ente ha acquisito o acquisirà, al fine di trasferirli o concederli successivamente (a utenti pubblici o privati).

2. La zona dei principali servizi urbani (UGSU)

Poiché lo spazio parigino sta diventando scarso, è diventato essenziale preservare le aree per le strutture e i servizi necessari al funzionamento dell'agglomerato, che forniscono un servizio reale ai parigini, e definire le condizioni in cui tali strutture e servizi possono essere installati a lungo termine. A tal fine, queste strutture sono state raggruppate in una zona urbana specifica, la Zona Grandi Servizi Urbani, con l'obiettivo di perpetuarne e favorirne uno sviluppo armonioso e sostenibile. Il territorio di questa zona si articola intorno alle seguenti aree principali:

- terreni utilizzati per il trasporto (reti ferroviarie per passeggeri e merci, ecc.) e per le attività di logistica urbana;
- terreni adibiti a porti sulle rive della Senna o a canali;
- grandi aree già utilizzate per tali servizi.

3. La zona urbana verde (UV)

La zona UV raggruppa le aree in cui la densità edilizia è generalmente bassa e in cui la funzione ecologica, la qualità del paesaggio o la vocazione ricreativa, sportiva o culturale devono essere preservate e valorizzate per garantire la qualità della vita e le esigenze di relax degli abitanti della città.

4. La zona naturale e forestale (N), che si applica al Bois de Boulogne e al Bois de Vincennes.

PLUi-PLAINE COMMUNE

Analogamente al PLU di Parigi, questo strumento urbanistico è sia un documento strategico che ufficializza il progetto politico di Plaine Comune per il territorio entro il 2030 attraverso il Progetto di Programmazione e Sviluppo Sostenibile (PADD), sia un atto normativo urbanistico. Anch'esso presenta una suddivisione al suo interno, analoghe a quelle del PLU. A quelle già presentate si aggiungono però altre due parti distinte:

- gli Orientamenti alla pianificazione e programmazione (OAP);
- gli allegati.

Sempre all'interno del regolamento si trovano le definizioni e le disposizioni generali applicabili a tutte le zone, per poi scendere nel dettaglio dei regolamenti di ogni zona, così denominate:

1. Zona UA: raggruppa le grandi aree di attività economica, prevalentemente nel settore secondario o non terziario;
2. Zona UE: destinata ad accogliere attività economiche miste, in particolare quelle del settore terziario;
3. Zona UMD: corrisponde in particolare alle aree miste ad alta densità delle città come centri urbani molto popolati, prossimità di una stazione ferroviaria o di un importante asse di trasporto pubblico, strade principali;
4. Zona UMT: corrisponde principalmente agli spazi densamente popolati dei centri storici, con il loro tessuto tradizionale.

5. Zona UM: corrisponde ad aree miste di densità intermedia, con edifici eterogenei;
6. Zona UC: a prevalenza residenziale, raggruppa complessi residenziali collettivi spesso situati su grandi superfici;
7. Zona UH: corrisponde ad aree a prevalenza residenziale e ad abitazioni singole, spesso comprendenti una quota significativa di spazi verdi;
8. Zona UP: corrisponde ad aree identificate come settori di progetto, dove la ricostruzione urbana è prevista a più o meno lungo termine e che richiedono regole speciali;
9. Zona UVP: corrisponde a spazi urbani con una componente vegetale e paesaggistica;
10. Zona N: corrisponde alle aree naturali sensibili in termini di qualità paesaggistica, estetica o ecologica esistente o di obiettivi legati allo sviluppo di tali qualità;
11. Zona UG: comprende ampie aree adibite ai principali servizi urbani, come strade e ferrovie, nonché aree collegate ad alcune strutture pubbliche di grandi dimensioni.

PLUi-EST ENSEMBLE

Est Ensemble ha redatto un PLUi per definire il futuro del suo sviluppo con l'obiettivo di costruire un territorio coerente, attraente e resiliente che tenga conto delle specificità di ogni comune e che soddisfi i bisogni degli abitanti e degli utenti liberandosi dai limiti comunale. È il primo PLUi adottato all'interno del perimetro della Greater Paris Metropolis.

Come suddivisione in zone è analogo al PLUi Plain Commune, ciò che varia però è la denominazione:

1. Zona UA: copre i settori di attività economica del territorio;
2. Zona UM: corrisponde ad aree miste, spesso situate tra le centralità e le aree residenziali meno dense del territorio;
3. Zona UH: comprende le aree destinate alla conservazione delle forme urbane esistenti che non sono destinate a evolversi in un'altra forma urbana;
4. Zona UR: delimita l'area di rinnovamento urbano, prevalentemente di edilizia collettiva. Zona N: corrisponde alle aree naturali;
5. Zona UE: raggruppa le grandi imprese infrastrutturali del territorio.

4.3.2. LINEE GUIDA PER LO SVILUPPO

Riferimento tavola 09

INTRODUZIONE

Le linee guida di sviluppo e programmazione (OAP) prevedono, in coerenza con il PADD, le azioni e le operazioni di sviluppo da attuare, in particolare per valorizzare l'ambiente, i paesaggi, gli ingressi e il patrimonio delle città, combattere l'insalubrità, consentire il rinnovamento urbano e garantire lo sviluppo del comune. Per questo motivo è stato utile analizzare nel dettaglio ciò che viene previsto per l'area di progetto e i suoi dintorni.

PLU-PARIGI

Le linee guida riguardano le aree di progetto in cui si svolgono le azioni e le operazioni di sviluppo, già in corso o future, come grandi progetti di rinnovamento urbano e zone di sviluppo concertato esistenti o previste. Le linee guida di sviluppo e programmazione relative alle ZAC danno conto del progetto di sviluppo risultante dalla consultazione e dalle deliberazioni relative alla creazione della ZAC, nonché del programma di attrezzature pubbliche. In particolare, indicano l'ubicazione e le caratteristiche degli spazi pubblici

da conservare, modificare o creare, nonché l'ubicazione prevista delle principali opere pubbliche, degli impianti di interesse generale e degli spazi verdi.

L'area del Grande Progetto di Rinnovo Urbano (GPRU) "Paris Nord-Est", a nord del 18° e 19° arrondissement, e le sue grandi aree in evoluzione costituiscono una delle principali sfide per Parigi in termini di rinnovamento urbano e coesione sociale, nonché di sviluppo economico in una logica di complementarità con i grandi settori di sviluppo del Nord-Est dell'Ile-de-France, dalle stazioni Nord ed Est fino al polo di Roissy, in un contesto in cui le opportunità fondiari sono sempre più scarse. All'interno di quest'area, le azioni a breve termine volte a migliorare le condizioni di vita degli abitanti saranno combinate con operazioni più strutturanti, il cui completamento sarà distribuito nel tempo.

In particolare, i principali obiettivi urbanistici del sito sono i seguenti:

1. migliorare l'ambiente di vita riqualificando e valorizzando gli spazi pubblici attraverso lo sviluppo di percorsi di traffico dolce e collegamenti paesaggistici, la creazione di spazi verdi significativi e di strutture locali e la diversificazione dell'offerta abitativa;
2. aprire e incoraggiare l'apertura del distretto migliorando i collegamenti di trasporto pubblico attraverso il prolungamento della linea 12 della metropolitana e la creazione di un nodo di interscambio presso la futura stazione RER E "Rosa Parks", in connessione con il prolungamento della tranvia di Maréchaux e il tratto meridionale della tranvia T8 proveniente da Saint-Denis. Verrà inoltre effettuata un'azione globale sulla gestione degli spostamenti e si creeranno nuovi collegamenti per ristabilire la continuità urbana e per sviluppare la cooperazione tra i quartieri parigini e i comuni limitrofi di Saint-Denis, Aubervilliers e Pantin, oltre che con la comunità dell'agglomerato della Plaine Commune;
3. sostenere le attività economiche e commerciali incoraggiando lo sviluppo di attività attraverso progetti di sviluppo la cui programmazione consenta la creazione di un gran numero di locali commerciali, garantendo al contempo un mix funzionale all'interno dei quartieri e sostenendo le attività commerciali esistenti. In questo modo si creeranno nuovi posti di lavoro per la popolazione locale.

PLUi-PLAINE COMMUNE

I PLUi comprendono due tipi di OAP: OAP tematici, che forniscono orientamenti generali alla scala dell'intero territorio di Plaine Comune, in termini di ecologia urbana, Commercio e in termini di viabilità e riqualificazione delle strade principali del territorio; OAP settoriali, che definiscono orientamenti localizzati e specifici sui settori con interessi nel territorio.

Il PLUi comprende 35 OAP settoriali e sono stati analizzati il settore "Porte de la Chapelle" a Saint-Denis e il settore "Entrepôts et Magasins Généraux de Paris" (EMGP) a Aubervilliers e Saint-Denis, in quanto vicini all'area di progetto.

La Porte de la Chapelle, come già accennato precedentemente, è un importante crocevia a nord-est di Parigi. Questo settore, fortemente esposto all'inquinamento acustico e atmosferico, è situato in un'enclave tra grandi linee ferroviarie e aree industriali dismesse. La sfida principale è quella di aprire e riqualificare questo settore, in particolare in prossimità della linea ferroviaria. Inoltre, la vicinanza del sito alle infrastrutture autostradali (circonvallazione e autostrada A1) implica misure di conservazione per proteggere i futuri utenti dall'esposizione all'inquinamento acustico e atmosferico. Infine, il progetto mira a rafforzare le attività di trasporto merci su rotaia e su fiume e la logistica urbana, e rafforzare la presenza della vegetazione e su questo territorio ad alta intensità di traffico.

L'Entrepôts et Magasins Généraux de Paris (EMGP) invece è un vasto parco commerciale situato nei comuni di Aubervilliers e Saint-Denis. Questa parte del settore concentra forti problematiche di sviluppo urbano e nei pressi sono in corso numerosi progetti di influenza metropolitana. L'accessibilità del sito con i mezzi pubblici è stata rafforzata dal prolungamento della linea 12 della metropolitana fino alla Place du Front Populaire di Aubervilliers. Questo rafforzamento continuerà con la prosecuzione del progetto di prolungamento della linea 12 fino alla Mairie d'Aubervilliers e la creazione del ramo meridionale del tram T8 fino alla stazione Rosa Parks di Parigi. L'accessibilità stradale è garantita, su larga scala, dalla vicinanza della tangenziale a sud e dell'autostrada A1 a ovest. Questa situazione, al centro di grandi progetti di sviluppo e di trasporto nel Nord Est dell'area metropolitana, costituisce un acceleratore del cambiamento urbano.

4.4. STATO DI FATTO

A seguito del sopralluogo effettuato in data 10/03/2023, si è potuto constatare lo stato di fatto dell'area.

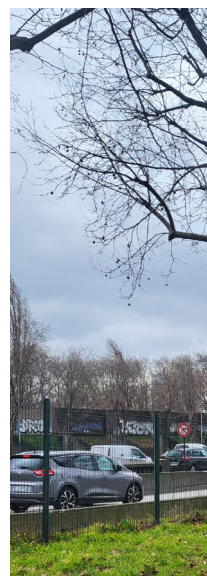
Sebbene siano iniziati i lavori per la costruzione dell'Arena, realizzata principalmente in calcestruzzo, i dintorni versano ancora in una condizione di degrado urbano, in particolare per ciò che concerne la sicurezza del quartiere restano evidenti problemi. La viabilità è inoltre rallentata, a causa del cantiere che ostruisce sia il passaggio dei veicoli sia dei pedoni.



③ PORTE DE LA CHAPELLE



④ VALENTIN ABEILLE



⑤ BOULEVARD



② ADIDAS ARENA



① ADIDAS ARENA



Figura I.4.9. Sopralluogo

La parte a Nord dell'area, compresa tra l'edificio Valentin Abeille, in evidente stato di degrado, e la Station Gare des Mines, dove dovrebbero sorgere i nuovi uffici secondo il bando di concorso, si presenta recintata ed in stato di abbandono.

Per quanto riguarda invece la Cité Charles Hermite, che costituisce la zona abitativa della ZAC, al momento non si ritrovano i nuovi servizi offerti dal bando, in quanto si è deciso di avviare solamente il cantiere dell'Arena con l'avvicinarsi dell'inizio dei Giochi Olimpici 2024.

Questa scelta fa sì che il nuovo edificio risulti estraneo al contesto in cui viene calato, lasciando da parte i bisogni reali della comunità.



D PERIFERIQUE



⑥ STATION GARE DES MINES



⑦ PORTE D'AUBERVILLIERS



⑧ CITÉ CHARLES HERMITE



⑨ BOULEVARD NEY

4.5. STATO AMBIENTALE DELL'AREA

Riferimento tavola 10

4.5.1. CLIMA E LCZ

La carta del clima e dell'inquinamento inquadra l'impatto climatico in base alla morfologia urbana nell'Île-de-France; questo permette di caratterizzare gli isolati urbani e rurali della regione per determinare a quale "zona climatica locale" del riferimento internazionale LCZ (Local Climate Zone) essi appartengono. Le LCZ sono entità spaziali uniformi per la loro distribuzione della temperatura dell'aria e della superficie tra 100 e 1000 metri su un piano orizzontale: ognuna esprime una caratteristica geometrica e uso del suolo che genera un clima specifico.

Gli elementi che compongono le LCZ sono stati suddivisi in ambienti naturali e edificati, differenziando tra tipologie: vegetazione fitta o diradata, coltivazioni, bacini d'acqua, terreno scoperto o non edificato, complessi di edifici residenziali e commerciali compatti o distanziati e edifici appartenenti al settore terziario di altezze minori. Tale elemento permette di aiutare la progettazione e pianificazione urbana adattandosi alle differenze di temperature che sussistono nel tessuto urbano parigino, aiutando una valutazione critica della pertinenza delle valutazioni riguardo la pianificazione attuale e il progetto sviluppato.

4.5.2. INQUINAMENTO E ISOLE DI CALORE

Vengono documentati i fattori della creazione e aumento delle UHI (Urban Heat Island):

- mineralizzazione del suolo che immagazzina la radiazione solare durante il giorno e la rilascia di notte sotto forma di calore (come marciapiedi in asfalto o lastre di granito, o anche strade rivestite con rivestimenti bituminosi); questi stessi materiali del suolo sono spesso impermeabili e quindi asciugano il suolo, rendendo la vegetazione urbana più fragile nei periodi di forte caldo;
- emissioni di calore dovute ad attività umane come l'utilizzo di motori a combustione interna per gli spostamenti, quella di condizionatori che respingono l'aria calda, la presenza di una rete di riscaldamento urbano sotto i marciapiedi che riscalda il suolo;
- la densità del tessuto edificato che impedisce il raffrescamento notturno del suolo.

Quando questi elementi si combinano in alcuni luoghi della città, l'UHI diventa particolarmente marcato: un esempio sono i grandi viali o boulevard orientati est-ovest che sono molto soleggiati e i cui materiali si caricano facilmente di calore. La presenza di vegetazione, invece, permette il raffreddamento dell'aria e dell'ambiente aiutando a combattere il fenomeno, insieme all'azione mitigatrice della vicinanza dei corsi d'acqua. La tangenziale è la più importante fonte di disturbo e inquinamento, in particolare la Porte de la Chapelle e il suo svincolo stradale. Anche il resto del distretto è molto esposto all'inquinamento a causa dell'elevata densità di strade a traffico intenso: boulevard des Fermiers Généraux (boulevards de Clichy, Marguerite-de-Rochechouart, de la Chapelle), rue Max- Dormoy, rue Orderer, ecc.

I due livelli mappati all'interno della carta del clima e dell'inquinamento indicano le maggiori quantità di accumulo di calore e inquinamento atmosferico, acustico, del suolo e delle acque; incrociando questi dati è risultato possibile rilevare le zone con livello critico

di inquinamento e che quindi necessitano di una più attenta progettazione e adattamento ai parametri climatici esistenti e anche in previsione di un ulteriore innalzamento di temperature. Vengono illustrati diversi livelli di accumulo delle tipologie di inquinamento, al fine di fornire dei parametri quantitativi esemplificativi all'interno di una singola area e la loro ripercussione su territorio e popolazione.

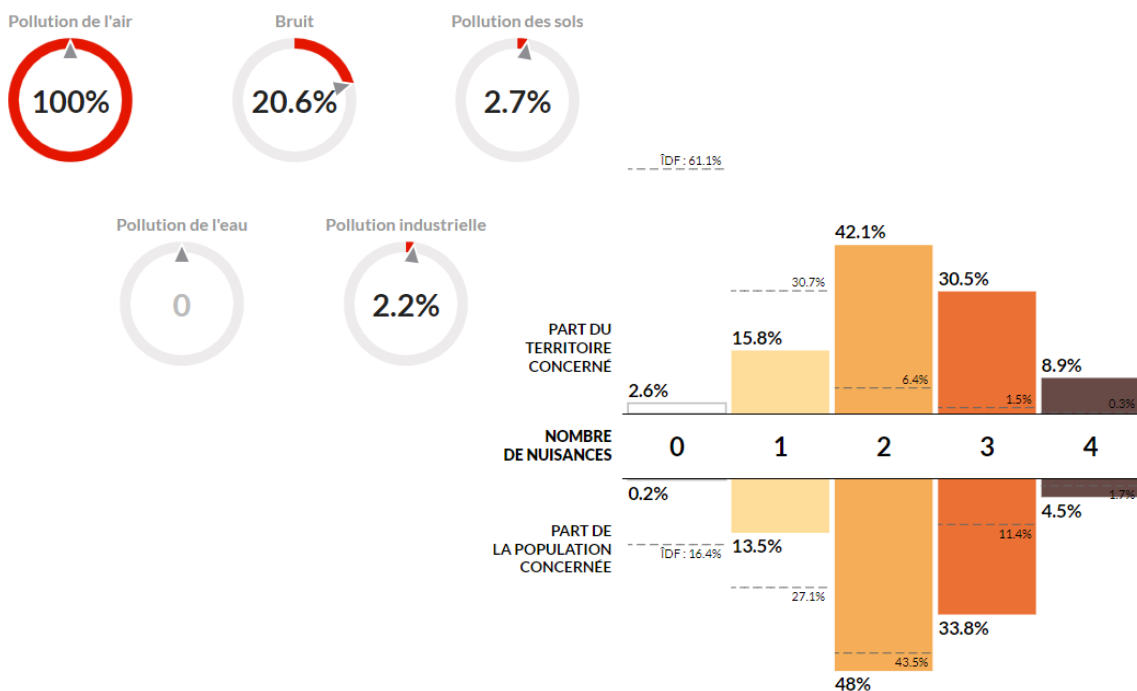


Figura I.4.10. Livello di inquinamento comune di Saint Ouen - fascia alta

Fonte: Plan Régional Santé Environnement

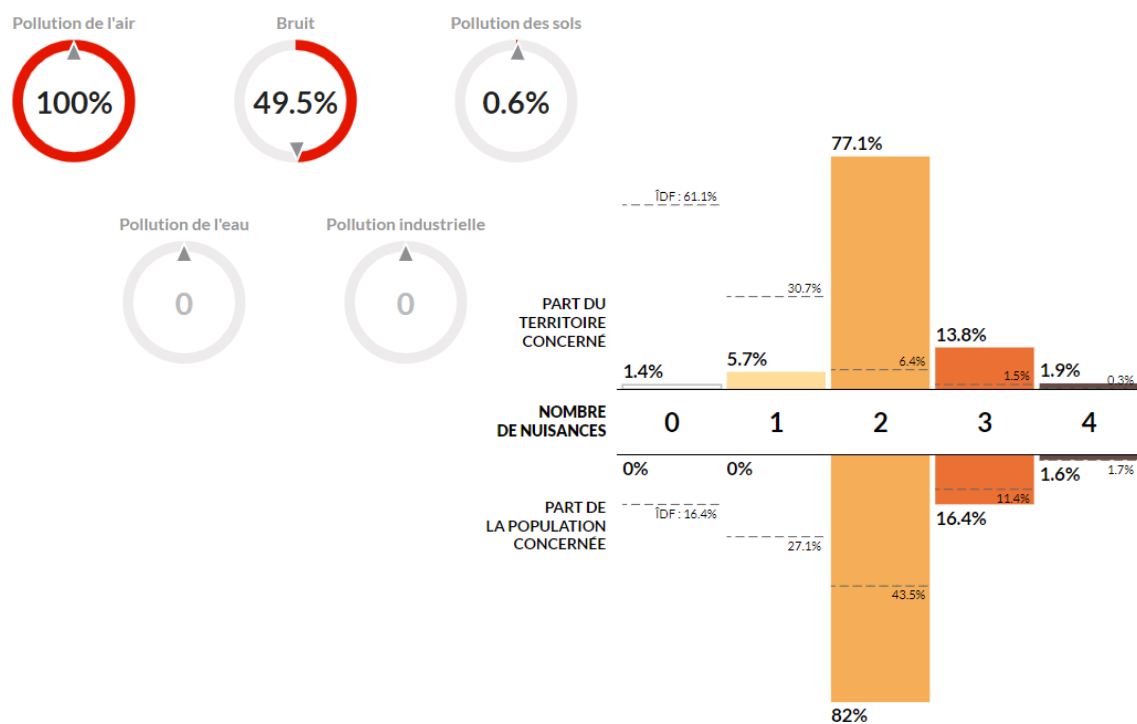


Figura I.4.11. Livello di inquinamento 18° arrondissement - fascia media

Fonte: Plan Régional Santé Environnement

4.5.3. QUALITÀ DELL'ARIA

In aggiunta alle misure permanenti già esistenti e al fine di caratterizzare più precisamente la qualità dell'aria nell'area di studio, nel mese di settembre 2018 è stata effettuata da EGIS una campagna di misure in situ. Tale campagna ha il duplice obiettivo di studiare la qualità dell'aria dell'area di studio e i vari inquinanti in relazione agli standard di qualità dell'aria in vigore.

Dato il problema della viabilità e in accordo con la circolare del 25 febbraio 2005 e la sua guida metodologica, sono stati selezionati cinque inquinanti per questa campagna di misure svoltasi dal 5 al 19 settembre 2018:

- Biossido di azoto (NO₂): inquinante tracciante delle emissioni legate al traffico stradale;
- BTEX (benzene, toluene, etilbenzene e xilene): emesso allo scarico e durante l'evaporazione dei combustibili;
- Anidride Solforosa (SO₂): inquinante tracciante delle emissioni da traffico stradale,
- PM₁₀: derivante da cantieri, traffico, riscaldamento urbano o fonti più distanti per la loro durata piuttosto lunga;
- PM_{2.5}: emesso principalmente dal settore residenziale/terziario, industria manifatturiera e trasporti.

STATO ATTUALE

La caratterizzazione dello stato iniziale della fascia di studio del progetto di sistemazione del sito della stazione Mines-Fillets, ai lati della tangenziale nord di Parigi, ha permesso di evidenziare:

- Un ambiente urbano denso, con la vicinanza di strade strutturanti (periferiche) che contribuiscono in modo significativo all'inquinamento atmosferico da strade;
- Concentrazioni di biossido di azoto che non soddisfano gli standard di qualità di aria e questa su tutta l'area di studio;
- Concentrazioni di benzene che rispettano il valore limite. L'obiettivo di qualità è stato invece superato nei siti prossimi alla strada, compreso un sito in prossimità di un attuale campo sportivo;
- Concentrazioni di PM_{2,5} che rispettano il valore limite.
- Concentrazioni di anidride solforosa e PM₁₀ che soddisfano gli standard di qualità dell'aria.

In conclusione, il progetto si trova in un ambiente urbanizzato la cui qualità dell'aria non soddisfa tutti gli standard.

Sulla base delle ipotesi di traffico adottate, lo studio della dispersione atmosferica evidenzia una cattiva qualità dell'aria indipendentemente dall'orizzonte di studio, con contenuti di biossido di azoto che superano i valori di soglia di qualità dell'aria.

Il valore limite per il biossido di azoto continua a risultare superato lungo la tangenziale, tuttavia si nota che il suo contenuto è superiore al valore limite in un'area più ristretta vicino alla strada. Per quanto riguarda le particelle (PM₁₀ e PM_{2,5}), i valori limite vengono superati lungo la tangenziale indipendentemente dallo scenario.

I livelli di altri inquinanti sono conformi agli standard di qualità dell'aria.

SCENARIO DI ESPOSIZIONE A SOSTANZE INQUINANTI

Lo studio dell'aria e della salute relativo al progetto di sviluppo nel settore Gare des Mines Fillettes è importante per la presenza di popolazioni vulnerabili situate vicino al progetto (scuole, asili nido).

Sulla base dei dati non è possibile escludere un rischio sanitario soglia associato al biossido di azoto, PM10 o PM2,5 per le popolazioni locali. Tale rischio non è specificatamente riconducibile al progetto di sviluppo del settore Gare des Mines Fillettes in quanto il rischio esiste indipendentemente dalla realizzazione del progetto.

4.5.4. ANALISI ACUSTICHE

Le misure acustiche sono effettuate in conformità alle norme NFS 31-085 relativa alla caratterizzazione del rumore stradale, NFS 31-088 relativa alla caratterizzazione del rumore ferroviario e NFS 31-110 relative alla caratterizzazione e misurazione del rumore ambientale.

Le registrazioni sono state effettuate con il metodo LAeq breve, che consente l'analisi statistica e la differenziazione mediante la codifica di particolari sorgenti in un periodo sufficientemente lungo da essere rappresentativo del rumore osservato.

Per ottenere una buona rappresentatività delle misure nel tempo e nello spazio, le misurazioni effettuate da martedì 18 a mercoledì 19 settembre 2018 sono consistite in cinque misurazioni da 24 ore in modo da tenere conto dell'intero territorio considerato.

Risultati:

- il sito di studio è molto esposto al rumore. La maggior parte del sito è soggetta a livelli sonori superiori a 60 dB(A) durante il giorno;
- la principale fonte di rumore è la tangenziale la cui presenza è avvertibile anche a distanza. Pertanto, a nord della tangenziale, i livelli sonori diurni sono superiori a 65 dB(A) fino a 80 metri dai binari. A sud, uno schermo acustico molto alto limita i livelli sonori diurni tra 60 e 63 dB(A);
- il sito è inoltre delimitato a ovest, sud ed est da infrastrutture strutturali: Rue de la Chapelle che provoca livelli sonori diurni superiori a 65 dB(A) fino a circa 50 metri dai binari, Boulevard Ney e il tram T3b provocano livelli sonori diurni superiori a 65 dB(A) fino a circa 25 metri dai binari mentre l'Avenue de la Porte d'Aubervilliers provoca livelli sonori diurni superiori a 65 dB(A) fino a circa 30 metri dai binari;
- nel cuore della città di Charles Hermite, la forma costruita fornisce un ambiente sonoro più silenzioso, tra 55 e 60 dB(A), o anche meno di 55 dB(A);
- di notte, i livelli sonori diminuiscono leggermente. Livelli sonori superiori a 65 dB(A) sono limitati a nord della tangenziale (fino a 60 metri dai binari) e all'immediato bordo degli altri binari, ma i livelli sonori su tutta la parte occidentale sono superiori a 60 dB(A). Nella parte orientale del sito, lo schermo acustico fornisce un ambiente sonoro compreso tra 55 e 60 dB(A).

Conseguentemente ed in applicazione del principio di anteriorità, ogni nuova costruzione sensibile (alloggi, istituti scolastici, assistenza, alberghi) costruiti all'interno del settore interessato dal rumore su entrambi i lati di queste strade dovrà proteggersi dal rumore di queste infrastrutture.

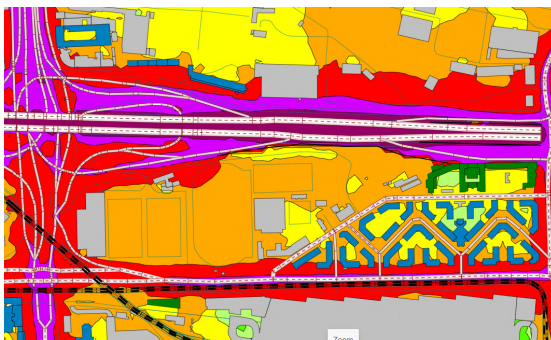


Figura I.4.12. Mappa del rumore ore 06-22
Fonte immagine: Etude d'impact acoustique et vibratoire de la ZAC Garedes Mines Fillettes



Figura I.4.13. Mappa del rumore ore 22-06
Fonte immagine: Etude d'impact acoustique et vibratoire de la ZAC Garedes Mines Fillettes



4.5.5. ENERGIE RINNOVABILI

ENERGIA GEOTERMICA

Si distingue in geotermia:

- geotermia ad alta energia (temperatura superiore a 150°C): si tratta di giacimenti generalmente situati tra i 1.500 ei 3.000 metri di profondità. Quando esiste un tale serbatoio, il fluido può essere catturato direttamente sotto forma di vapore secco o umido per la produzione di energia elettrica;
- energia geotermica di media energia (temperatura compresa tra 90°C e 150°C) : il BRGM la definisce come un'area adatta alla geotermia di alta energia, ma a una profondità inferiore a 1.000 metri. È adatto alla produzione di energia elettrica grazie ad una tecnologia che prevede l'utilizzo di un fluido intermedio;
- energia geotermica a basso consumo energetico (temperatura compresa tra 30°C e 90°C) : si tratta dell'estrazione di acqua al di sotto dei 90°C il cui livello di calore è insufficiente per la produzione di energia elettrica ma idonea all'utilizzo diretto (senza pompa di calore) per il riscaldamento di abitazioni e alcune applicazioni industriali;
- energia geotermica a bassissima energia (temperatura inferiore a 30°C): si tratta dello sfruttamento di falde acquifere poco profonde e dello sfruttamento dell'energia naturalmente presente nel sottosuolo a poche decine o anche centinaia di metri di profondità.

I primi due tipi di energia geotermica richiedono contesti geologici molto specifici (presenza di una risorsa ad alta temperatura) che non sono presenti nella regione parigina. Inoltre, queste tecnologie richiedono investimenti significativi e sono riservate a progetti su larga scala (rete di riscaldamento o produzione di energia elettrica).

Queste soluzioni non sono quindi adatte al progetto studiato.

Per quanto riguarda l'energia geotermica a basso consumo è disponibile la falda acquifera profonda del Dogger che raggiunge una temperatura compresa tra 50 e 85°C e una profondità compresa tra 1.500 e 2.000 metri circa. Sfortunatamente, il potenziale dell'acquifero Dogger è stato valutato come inutilizzabile per la produzione di energia geotermica a bassa energia.

Il terreno del progetto è invece favorevole all'energia geotermica a bassissima energia sulla falda superficiale, grazie alla presenza di acquiferi dell'Eocene Medio e Inferiore e della Falda Calcata; perciò, si presta fortemente allo sviluppo di impianti geotermici assistiti da pompe di calore sia su falda che su sonde.

BIOMASSA ENERGETICA

Per biomassa si intende tutta la materia organica, di origine vegetale o animale, che può essere utilizzata per produrre energia.

L'uso della biomassa a fini energetici rappresenta una parte importante dell'obiettivo della Francia che, nel quadro della legge sulla transizione energetica, si è impegnata ad aumentare la sua quota di energia rinnovabile al 32% nel suo consumo finale di energia entro il 2030.

Le maggiori risorse legnose energetiche riguardano principalmente rifiuti legnosi non sporcati di classe A da rifiuti domestici, da costruzione e da altre attività economiche (315 kt/anno in tutto), seguiti da legname forestale (280 kt/anno) e paglia (223 kt/anno).

In totale la quantità annua supera le 800.000 tonnellate, l'energia del legno è una risorsa interessante nell'Ile-de-France.

Lo sviluppo di una soluzione di biomassa per questa area di sviluppo sembra quindi fattibile in termini di disponibilità di risorse.

Per biomassa agricola si intendono i sottoprodotti dello sfruttamento che non presentano più alcuna possibile valorizzazione in termini di alimentazione o utilizzo come materia prima tecnicamente, economicamente ed ecologicamente valida.

L'utilizzo di questi sottoprodotti nel recupero energetico è generalmente reso complicato dalla diversità dei materiali (che generano altrettanti processi diversi), dalla loro distribuzione geografica, dalla loro periodicità di disponibilità e dall'assenza di canali dedicati.

L'ampia superficie per l'ubicazione dei locali e dei depositi alla scala dell'area, soprattutto in ambito urbano, rende questa soluzione inadatta al progetto.

ENERGIA EOLICA

L'energia eolica consiste nel convertire l'energia cinetica del vento in energia meccanica, attraverso l'intermediazione di una turbina eolica. Le attuali macchine sono utilizzate per produrre energia elettrica che viene consumata localmente (siti isolati), oppure immessa nella rete elettrica (aerogeneratori collegati alla rete).

La zona di sviluppo ha una velocità del vento di circa 5 m/s, quindi ha un potenziale di sfruttamento relativamente basso. Inoltre, l'installazione di grandi turbine eoliche non è possibile nelle aree urbane a causa dei fastidi e dei rischi generati.

Inoltre, anche i piccoli e medi impianti non sono compatibili con l'area di progetto a causa delle troppe incertezze (vento effettivamente disponibile, cambio di direzione, efficienza del sistema) e vincoli (rumore, struttura, manutenzione).

Questo tipo di risorsa non può quindi essere utilizzato nell'ambito del progetto.

ENERGIA IDROELETTRICA

Gli impianti idroelettrici rappresentano una quota non trascurabile della produzione di energia elettrica francese: in media il 13% della produzione di elettricità (energia) e il 20% della capacità elettrica installata (potenza) nel territorio nel 2013 (ovvero circa 25.400 MW). L'energia idroelettrica è la prima fonte rinnovabile di elettricità nella Francia continentale in termini di produzione.

Lo studio della topografia di quest'area rivela un dislivello troppo basso che non consente lo sfruttamento dell'energia idraulica.

Questa rete non è quindi sufficiente per considerare la produzione di energia elettrica idroelettrica.

ENERGIA SOLARE

L'energia solare è presente ovunque, è disponibile (nessun prezzo di acquisto) e rinnovabile. Tuttavia, richiede impianti per la sua conversione in calore o elettricità. La natura intermittente rende necessario disporre di un sistema di riserva per garantire una produzione di energia sufficiente durante il giorno e l'anno. Questo rapporto si concentra sulle tecnologie ritenute rilevanti alla scala di un'operazione di sviluppo, ovvero la produzione di energia elettrica tramite pannello solare fotovoltaico e la produzione di acqua calda sanitaria tramite pannello solare termico:

- Solare Fotovoltaico (PV) connesso alla rete: possono essere installati ovunque, sul

tetto o sul terrazzo, in facciata, a terra, come barriera antirumore, ecc. Il maggior numero possibile di luoghi purché rispettino alcune regole di attuazione: orientamento favorevole e inclinazione ottimale, senza ombre proiettate. L'energia solare fotovoltaica sembra adatta al progetto nonostante l'insolazione moderatamente favorevole della regione.

- Solare termico: Il deposito solare termico è favorevole con irraggiamento solare stimato in 1175 kWh/m².anno (dati PVGIS). Tuttavia, l'utilizzo di acqua calda sanitaria all'interno dell'edificio terziario è troppo basso per prevedere lo sfruttamento dei tetti per l'installazione di pannelli solari termici.

APPROCCIO STRATEGICO ENERGETICO

La costruzione di una strategia energetica non deve riguardare solo la produzione di energia rinnovabile, ma deve basarsi anche su una serie di accorgimenti da prevedere in fase di progettazione al fine di non sprecare l'energia prodotta.

A titolo esemplificativo, ciò può comportare:

- Dotare edifici/uffici, locali comuni di un rilevatore di presenza per l'illuminazione interna;
- Vietare l'illuminazione notturna degli uffici non occupati;
- Programmare la riduzione dell'intensità luminosa o lo spegnimento delle luci pubbliche nelle ore notturne (dalle 23:00 alle 6:00) con un rilevatore di presenza;
- Limitare la temperatura di setpoint invernale per limitare il fabbisogno termico.

VERSO LA CARBON NEUTRALITY 2050

Nell'ambito degli impegni sostenibili del bando per Parigi 2024, è stato assunto un forte impegno sull'asse del carbonio relativo alla riduzione delle emissioni di gas serra.

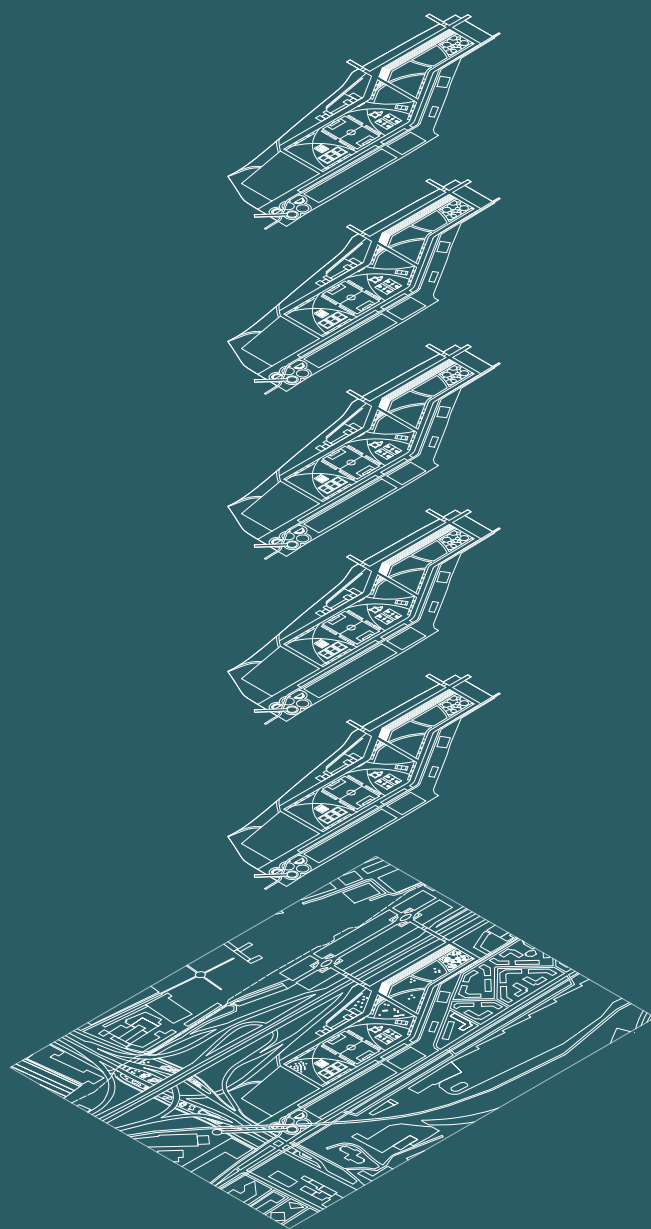
Per questo, i progettisti cercheranno di limitare notevolmente l'impiego di carbonio delle strutture olimpiche e in particolare dell'Arena: sarà necessario utilizzare principalmente materiali di origine biologica o cementi alternativi a bassa emissione. La loro rispettiva quota deve essere valutata in relazione alla capacità dei settori industriali di rispondere in tempo nonché al rapporto costo/ efficacia per il carbonio evitato. Saranno utilizzati anche metodi di costruzione innovativi, come i processi a secco.

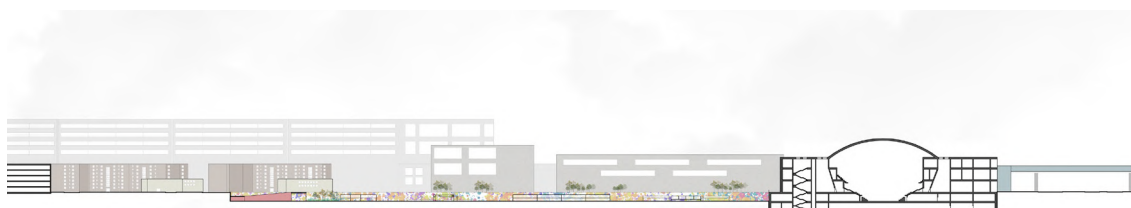
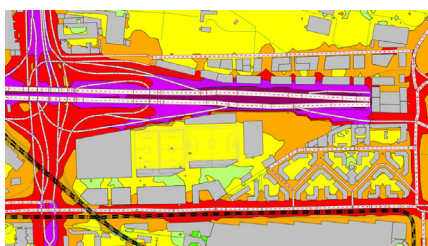
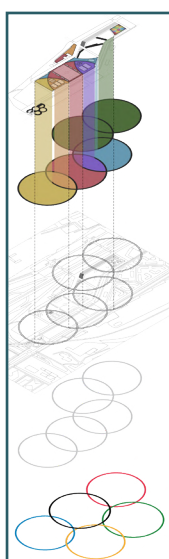
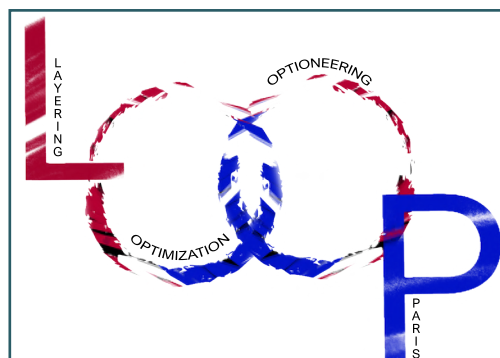
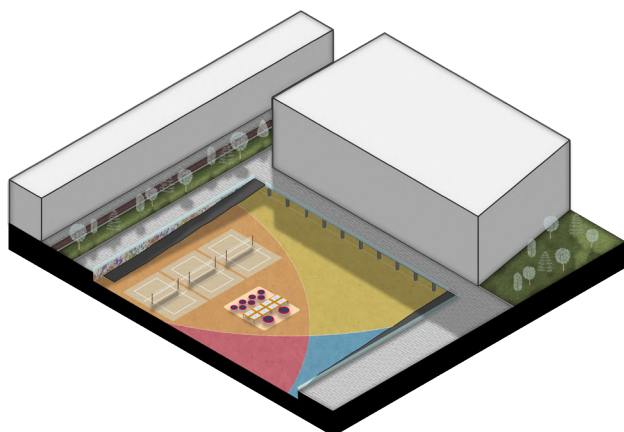
Ogni struttura coglierà opportunità per sviluppare risorse di approvvigionamento di energia rinnovabile a bassissimo contenuto di carbonio e per installare sistemi di produzione di energia elettrica rinnovabile.

Infine, la questione del carbonio porta naturalmente con sé quella dell'economia circolare, in particolare nel campo degli edifici. Ciò comporta sia il riutilizzo di ciò che già esiste (soggetto a vincoli normativi e la realtà di un bilancio economico vincolato) ma soprattutto che tutti i nuovi edifici siano progettati ab initio per essere riciclabili (materiali, componenti, sistemi e usi).

III

PROGETTAZIONE DI UN NUOVO DISTRETTO SPORTIVO





Premessa

Avendo analizzato il contesto e l'area di progetto, in questo capitolo verrà illustrato il progetto del nuovo distretto sportivo.

Si tratterà, in prima battuta, del processo di Scenario Building che ha guidato la scelta del concept di progetto, attraverso comparazioni e analisi riguardanti l'impatto ambientale di differenti scenari progettuali.

Successivamente, verrà esposto l'Urban Masterplan del distretto sportivo, caratterizzato dall'impronta dei Giochi Olimpici 2024 e che coinvolge anche il contesto circostante. In particolare si farà accenno al concetto di polifunzionalità, aspetto chiave che ha caratterizzato il progetto sia a scala urbana sia l'Arena.

01

SCENARIO BUILDING

1.1. INTRODUZIONE

Al fine di valutare i diversi impatti futuri all'interno dell'area in esame viene predisposto uno scenario building, per la costituzione di scenari alternativi: si tratta di uno strumento di pianificazione che permette una possibile simulazione di ipotesi di futuri diversi progettati per evidenziare rischi e opportunità coinvolti in questioni specifiche. Vengono valutati tre scenari differenti: Scenario 0, in assenza di progetto; Scenario 1, progetto da bando; Scenario 2, progetto in variante rispetto al bando.

Si sceglie di esaminare unicamente lo scenario strategico 1 e 2 ai fini della valutazione d'impatto ambientale poiché implicano un cambiamento migliorativo della situazione esistente nell'area di progetto. Lo scenario 0, in assenza di progetto, è racchiuso in una descrizione qualitativa esplicita successivamente nel paragrafo "Scenario 0: in assenza di progetto".

1.2. METODOLOGIA

INTEGRAZIONE SWOT+STEEP

Le componenti della STEEP Analysis vengono combinate con i quattro quadranti dell'Analisi SWOT per analizzare le complesse dinamiche della città e del territorio. In questo modo permette di definire sistemi di indicatori, al fine di individuare strategie e obiettivi e pianificare scenari alternativi di trasformazione territoriale. Attraverso la stesura dell'analisi SWOT vengono valutati i punti di forza, le debolezze, le minacce e le opportunità connesse all'area di progetto. Al fine di classificare le varie informazioni, ciascuna sezione della STEEP è divisa in sotto-ambiti scelti in base agli aspetti più importanti estrapolati dalle analisi iniziali.

DEFINIZIONE OSA

Lo studio delle richieste previste da bando, a seguito fuse con l'analisi STEEP+SWOT, ha permesso la stesura dell'OSA: Obiettivi-Strategie-Azioni atte a realizzare la vision di progetto. Gli obiettivi costituiscono la motivazione della proposta, e il loro raggiungimento viene concretizzato dall'esplicitazione delle strategie; infine si passa alle azioni che localizzano specificatamente cosa e dove si va ad agire secondo obiettivi e strategie.

WILSON MATRIX

Al fine di relazionare il livello di impatto con il livello di incertezza nella realizzazione delle azioni proposte viene predisposta la matrice di Wilson, identificando i fattori trainanti più rilevanti dei vari scenari progettuali.

STUDIO D'IMPATTO E MATRICE DI IMPATTO

Le azioni che vengono delineate vengono poi valutate nella prospettiva di evoluzione del futuro scenario tramite uno studio degli impatti positivi o negativi che possono avere all'interno del contesto e dell'area di progetto. In questa fase viene predisposta una matrice di impatto che permette di esaminare tramite una scala qualitativa gli effetti delle scelte intraprese.

1.3. ANALISI SWOT

S

W

MOBILITÀ

- Collegamenti efficienti tra centro, periferia e comuni limitrofi
- Investimento sulla mobilità lenta, pedonale e ciclabile

- Netta divisione dettata dalla presenza dell'autostrada A1
- Presenza costante di traffico e inquinamento acustico elevato

DEMOGRAFIA

- Alto indice giovanile, nella fascia di età compresa tra i 20 e i 30 anni
- Alto livello di istruzione, principalmente a livello scolastico e universitario
- Varietà culturale e sociale degli abitanti

- Più di una persona su cinque vive in povertà
- Livello di retribuzione salariale inferiore rispetto alla media nazionale
- Alta densità abitativa genera sovraffollamento degli edifici

SPORT

- Alta densità e varietà di piccoli impianti sportivi
- Presenza di percorsi naturali per attività sportiva

- Presenza di impianti dismessi
- Scarsità di impianti di grandi dimensioni

AMBIENTE

- Vicinanza di spazi verdi raggiungibili a piedi
- Presenza di elementi tutelati: aree verdi protette e edifici soggetti a vincolo storico-monumentale
- Nessun rischio idrogeologico
- Bacini di biodiversità urbana e percorsi naturali accessibili

- Frammentazione di spazi verdi
- Inquinamento acustico e ambientale dovuto alle attività commerciali e all'intensa viabilità
- Presenza di isole di calore urbane diffuse

O

T

MOBILITÀ

- Collegamento diretto al Villaggio Olimpico con nuovi GPE e tram
- Fruizione da parte del turismo delle nuove linee infrastrutturali
- Promozione dei trasporti pubblici di superficie (tram, bus ecc.)
- Istituzione di zone a traffico limitato

Fonte: *Projet d'aménagement et de développement durable, PLU, 2018*

DEMOGRAFIA

- Creazione di nuove strutture specializzate nell'accoglienza dei giovani
- Allestimento di spazi di coworking e hub di innovazione
- Progetto di un nuovo polo universitario
- Realizzazione di nuova edilizia collettiva e mix funzionale di attività commerciali

Fonte: *Projet d'aménagement et de développement durable, PLU, 2018*

SPORT

- Presenza dei Giochi Olimpici e Paralimpici 2024 e implementazione di nuovi impianti sportivi
- Stanziamento fondi per migliorare l'isolamento acustico degli impianti sportivi esistenti
- Promozione della pratica sportiva tramite competizioni aperte alla cittadinanza

Fonte: *Projet d'aménagement et de développement durable, PLU, 2018*

AMBIENTE

- Realizzazione cintura verde
- Aumento della biodiversità
- Protezione acustica per arginare il rumore proveniente dalla tangenziale

Fonte: *Projet d'aménagement et de développement durable, PLU, 2018*

- Aumento dell'inquinamento atmosferico per la grande quantità di spostamenti

Fonte: *Diagnostic et prévisions territorial, PLU, 2020*

- Assenza di politiche effettive di sostegno per la crescente povertà abitativa
- Crescita del valore fondiario della zona a seguito dei Giochi Olimpici e nuova gentrification
- Innalzamento dei prezzi degli alloggi e conseguente aumento del pendolarismo dei giovani lavoratori

Fonte: *Diagnostic et prévisions territorial, PLU, 2020*

- Aumento dei prezzi e disponibilità di materie prime legati alle manifestazioni
- Innalzamento del costo dell'energia, necessaria per il funzionamento degli impianti sportivi

Fonte: *Diagnostic et prévisions territorial, PLU, 2020*

- Innalzamento del gradiente di temperatura presente nelle varie isole di calore urbane
- Aumento della densità del tessuto edificato contribuisce al fenomeno delle isole di calore

Fonte: *Diagnostic et prévisions territorial, PLU, 2020*

1.4. PRESENTAZIONE DEGLI SCENARI

1.4.1. SCENARIO 0: ASSENZA DI PROGETTO

Il primo step è quello di analizzare la probabile evoluzione dell'ambiente in assenza di progetto, che viene esplicitata nei paragrafi seguenti: tale descrizione qualitativa si propone di dare una visione futura di massima dell'area in assenza di progetto.

INFRASTRUTTURE

In assenza di attuazione del progetto, il settore Gare des Mines-Fillettes manterrà il suo carattere urbano, che sarà anche rafforzato dalla densificazione urbana in corso. L'attuale trasformazione urbana farà sentire la necessità di attrezzature. Il sito della Gare des Mines-Fillettes costituirà sicuramente un dente cavo obsoleto rispetto al quartiere. In effetti, senza il progetto, il settore Gare des Mines-Fillettes sarà sinonimo di spartiacque urbano, separando le sponde nord e sud e rafforzando l'impatto delle infrastrutture sul tessuto urbano.

Allo stesso modo, i lotti degli isolati non edificati rimarrebbero non edificati e non parteciperebbero allo sviluppo urbano ed economico dell'area.

MOBILITÀ

Molti progetti attuali o futuri miglioreranno i viaggi per gli abitanti di Paris Nord Est Allargato così come per i visitatori o i passeggeri in transito (CDG Express, estensione, Linea 12, T8, ecc.). Così, lo sviluppo dell'offerta di trasporto pubblico, la riqualificazione/ripristino dei percorsi pedonali e lo sviluppo delle piste ciclabili contribuiranno all'apertura del territorio di Parigi Nord Est Allargato dal ripristino della continuità urbana.

CLIMA

Alcuni cambiamenti, anche se direttamente legati alle attività umane, saranno difficilmente controllabili nel lungo termine: cambiamenti delle precipitazioni, cambiamenti nel funzionamento dei sistemi idrologici, moltiplicazione o amplificazione di eventi climatici estremi, cambiamenti comportamentali della fauna selvatica, cambiamenti nelle biogeografiche aree di distribuzione della fauna e della flora, ecc.

Se continueranno, le emissioni di gas serra causeranno ulteriori trasformazioni a tutti i componenti del sistema climatico, aumentando la probabilità di conseguenze gravi, diffuse e irreversibili per le persone e gli ecosistemi. Per limitare l'entità del cambiamento climatico, è necessario ridurre le emissioni di GHG ora, in modo significativo e sostenibile, il che, con l'adattamento, probabilmente limiterà (senza annullarle) i rischi associati a questi cambiamenti.

AMBIENTE NATURALE

In futuro, le pressioni sulle specie aumenteranno, con il cambiamento climatico che porterà in particolare a siccità più lunghe e temperature in aumento. Questi nuovi vincoli indotti dal cambiamento climatico si aggiungeranno alle pressioni antropiche a cui sono sottoposti gli ecosistemi. È quindi prevedibile un declino delle capacità adattative delle specie: eccesso di mortalità degli individui, calo della natalità, ecc. sono quindi attese.

PAESAGGIO URBANO

Il paesaggio urbano del distretto dovrebbe cambiare in modo significativo con lo sviluppo di progetti urbani vicini: ZAC Chapelle Charbon, Chapelle International, Hébert, Eole Evangile, ecc.

Questi sviluppi potrebbero rafforzare la percezione dell'isolamento del settore Gare des Mines-Fillettes e la mancanza di continuità fisica e visiva, sia est/ovest che nord/sud.

AMBIENTE DI VITA E SALUTE

In assenza di un progetto, l'area di studio costituirà un elemento di degrado in un territorio bonificato.

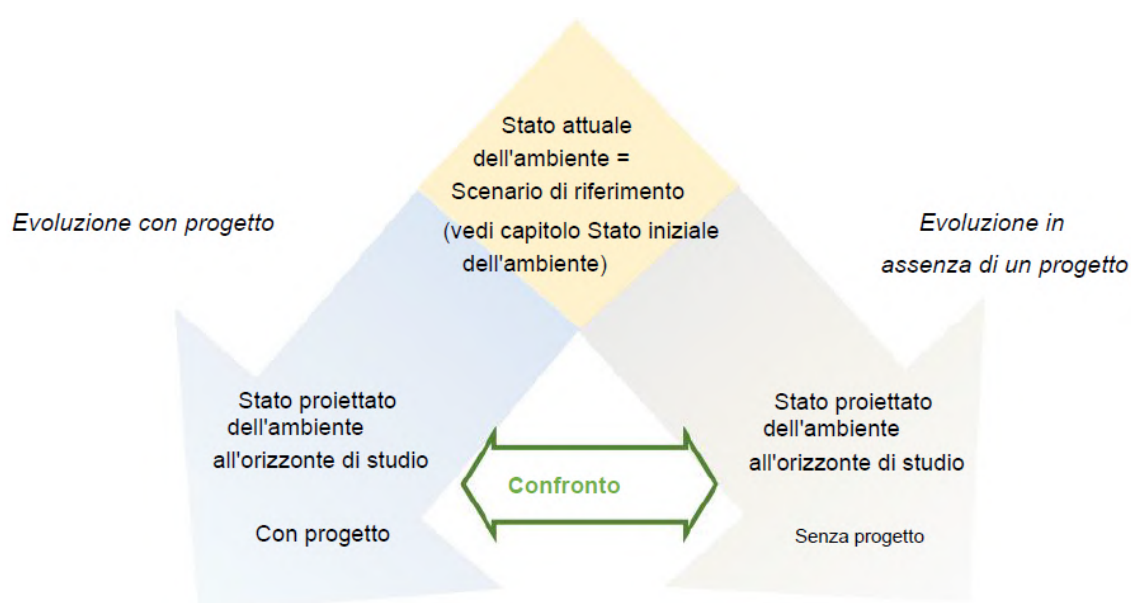


Figura II.1.1. Principio di analisi della probabile evoluzione dell'ambiente

Ai fini della valutazione dei diversi scenari e del loro impatto, il quale viene calcolato dalle successive analisi, si sceglie di non prendere in considerazione lo scenario 0, ossia l'assenza del progetto, poiché tutte le informazioni contenute in questa sezione, compresa l'evoluzione del futuro scenario, sono estrapolate dal documento *Etude d'impact de la ZAC Gare des Mines Fillettes*, redatto dal Comune di Parigi.

1.4.2. SCENARIO 1: BANDO DI PROGETTO

Il secondo scenario presentato è quello tendenziale, ossia quello che evidenzia le disposizioni di conservazione o di trasformazione presenti nei Piani vigenti, e nello specifico caso risulta essere il bando di progetto indetto dal Comune di Parigi.

Questo studio d'impatto riguarda il progetto ZAC Mines - Fillettes, situato nel 18° arrondissement di Parigi. Viene effettuato in applicazione dell'articolo R. 122-2 del codice dell'ambiente. Il progetto è infatti interessato dalla rubrica 39 della tabella allegata all'articolo R. 122-2 del Codice dell'Ambiente, di cui si riporta di seguito un estratto:

	Progetti soggetti a valutazione ambientale	Progetti soggetti a revisione caso per caso	Caratteristiche del progetto
39. Lavori, costruzioni e operazioni di sviluppo	a) Opere e costruzioni che creano una superficie ai sensi dell'articolo R. 111-22 del Codice di Urbanistica o una superficie ai sensi dell'articolo R. 420-1 del Codice di Urbanistica superiore o uguale a 40.000 m2.	a) Opere e costruzioni che creano una superficie ai sensi dell'articolo R. 111-22 del codice urbanistico o una superficie ai sensi dell'articolo R. 420-1 del codice urbanistico compresa tra 10.000 e 40.000 m2.	La ZAC ha una superficie di 20ha (>10ha)
	b) Operazioni di sviluppo dove la superficie fondiaria è maggiore o uguale a 10 ha, o la cui superficie ai sensi dell'articolo R. 111-22 del codice urbanistico o l'impronta ai sensi dell'articolo R. 420-1 del comune codice urbanistico è maggiore o uguale a 40.000 m2 .	b) Operazioni di sviluppo la cui superficie di base è compresa tra 5 e 10 ettari, o la cui superficie di pavimento ai sensi dell'articolo R. 111-22 del Codice di Urbanistica o la superficie del suolo ai sensi dell'articolo R. 420-1 del Codice di Urbanistica è compresa tra 10.000 e 40.000 m2.	

La ZAC ha una superficie di circa 20ha; pertanto il progetto è soggetto a valutazione ambientale ai sensi dell'articolo R122-2 del codice dell'ambiente.

Il progetto ZAC "Gare des Mines - Fillettes" si inserisce in 2 dinamiche territoriali:

- Il piano guida Paris North-East Extended Guide Plan (PNEE), che fornisce un quadro per lo sviluppo del Nord-Est di Parigi e l'anticipazione del suo futuro posizionamento metropolitano. È uno strumento al servizio della coerenza dei diversi progetti futuri, nell'ottica di trasformare un settore con una situazione socio-geografica sfavorevole e di bassa qualità in una nuova polarità metropolitana, attrattiva, vivibile e abitabile con usi misti;
- Il Nuovo Programma Nazionale per il Rinnovo Urbano (NRNRU) "Les Portes du 18ème" permette la diversificazione degli alloggi e promuove la coesione sociale; aprire quartieri, creare o rafforzare continuità urbane nel settore; sviluppare il potenziale economico di questo territorio.

PROGETTO DI SVILUPPO DEL SETTORE GARE DES MINES – FILLETES

Di seguito si ricapitolano gli obiettivi del bando della ZAC Gare des Mines – Fillettes, già stati esplicitati nella sezione “Bando di concorso”:

- Nuova dinamica in connessione con i Giochi Olimpici e Paralimpici di Parigi 2024; nel contempo ammodernando gli impianti sportivi locali presenti nel sito;
- Proseguire la trasformazione delle porte in “piazze Grand Paris”, al fine di collegare Parigi e le città confinanti con Seine-Saint-Denis;
- Aprire la Cité Charles Hermite e l’edificio Valentin Abeille;
- Creare un paesaggio urbano che risponda alle sfide poste sia alla scala del grande paesaggio 2015-2016 Primo ciclo di consultazioni propedeutiche alla ZAC (perimetro intercomunale) solo a livello pedonale, tenendo conto dei corridoi ecologici esistenti;
- Creare un quartiere con una programmazione mista abitativa/occupazionale;
- Studio di un potenziale collegamento urbano intermedio che attraversi la tangenziale.

VARIANTI DI PROGETTO

Sono stati istituiti due scenari di sviluppo , entrambi basati sui seguenti principi:

- Il mantenimento e l’ammodernamento dell’offerta sportiva esistente;
- La creazione di un luogo pubblico sviluppato attorno all’attuale organizzazione dello spazio;
- Il principio che gli isolati a nord della tangenziale siano progettati in modo che le tipologie edilizie siano reversibili in abitazione o occupazione;
- Parziale copertura della tangenziale da parte di un edificio a ponte che colleghi le due zone.

VARIANTE 1: UN PARCO SPORTIVO COMPATTO

Questo scenario mantiene tutta la programmazione sportiva a sud della tangenziale ma ottimizza l'installazione dei tre campi da calcio per sviluppare uno spazio verde locale il più vicino possibile alle nuove abitazioni familiari, in collegamento con gli impianti sportivi e la futura piazza pubblica.

Per sviluppare lotti edificabili sufficientemente profondi lungo Boulevard Ney, la continuità verde creata lungo la rampa di interscambio viene abbandonata a favore di un semplice muro di protezione.

- l'edilizia abitativa si sviluppa principalmente nel sud, lungo Boulevard Ney;
- la fascia mediana è occupata essenzialmente da attività sportive e ricreative;
- il nord della circonvallazione sviluppa aree prevalentemente economiche, tranne all'estremità della Porte d'Aubervilliers dove le abitazioni costituiranno il nuovo fronte urbano del Cours d'Aubervilliers.

Questo scenario sviluppa circa 130.000 m² di superficie di cui 59.000 m² abitativi e circa 70.000 m² destinati all'attività economica.

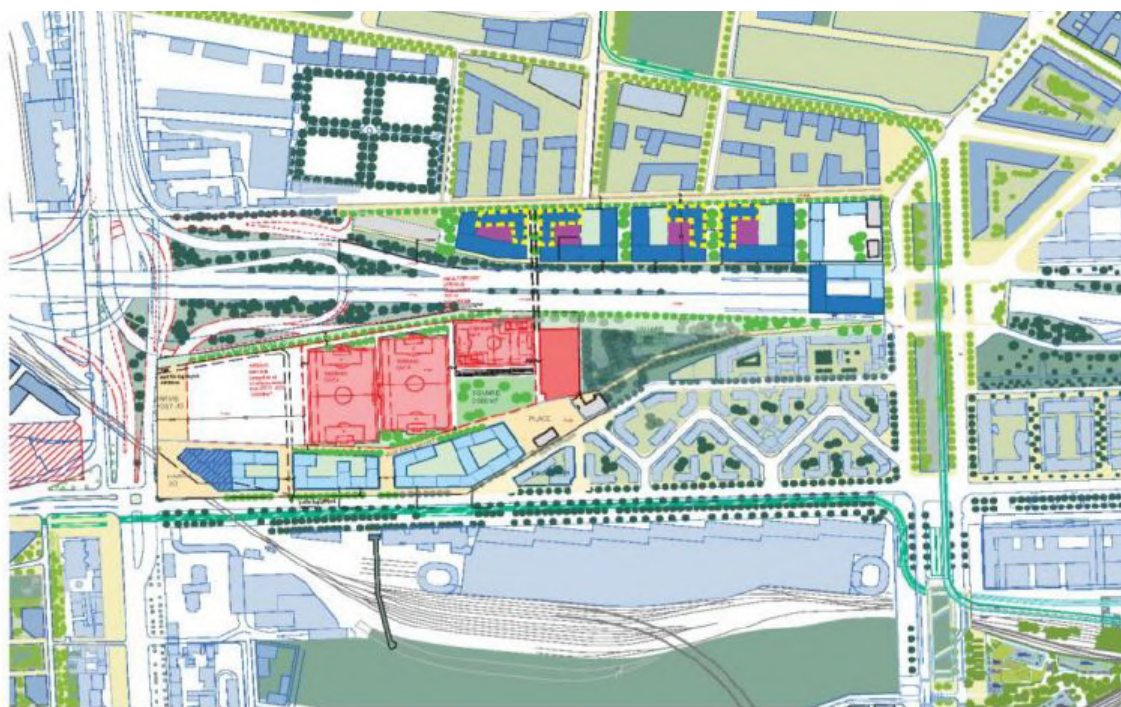


Figura II.1.2. Mappa della variante 1

VARIANTE 2: ATTRAVERSAMENTO DI UN PARCO SPORTIVO

Questo scenario estende il complesso sportivo e paesaggistico su entrambi i lati della tangenziale e potrebbe richiedere una passerella sopra di esso per garantire questa installazione “bipolare” se dovesse rimanere municipale (gestione DJS). Si tratta quindi di un complesso sportivo e ricreativo più confortevole che riunisce gli utenti pubblici di questi luoghi e mantiene a distanza i blocchi abitativi di Boulevard Ney, che hanno una migliore edificabilità nell’edilizia familiare.

Questo scenario distribuisce il complesso sportivo e paesaggistico su entrambi i lati della tangenziale: i due campi sportivi di categoria 4 sono installati nella parte sud e il terzo campo di calcio nella parte nord. Questo scenario rafforza la necessità di una passerella che attraversi il viale (i problemi di gestione richiedono un servizio veloce e vicino).

L’allentamento della localizzazione degli impianti sportivi consente di sviluppare in modo meno compatto i nuovi spazi verdi, lungo i due campi sportivi, in modo da distanziare gli edifici residenziali posti di fronte (per proteggerli dall’inquinamento acustico e luminoso degli impianti sportivi).

Questo scenario sviluppa anche quasi 130.000 m² di superficie, di cui 64.000 m² di abitazioni e circa 66.000 m² di attività economica.



Figura II.1.3. Mappa della variante 2

1.4.3. SCENARIO 2: VARIANTE DI PROGETTO

Il terzo scenario è quello che si riferisce alla variante di progetto, intraprendendo visioni esplorative e definendo strategie competitive alternative al bando volte a costruire un progetto in grado di rilanciare l'area oggetto di studio.

Sulla base delle analisi conoscitive e la successiva analisi SWOT è stato possibile intraprendere l'urban envisioning, stilando il punto di partenza per la realizzazione del master-plan e del progetto di rigenerazione urbana.

LOGO E MOTTO DEL PROGETTO URBANISTICO

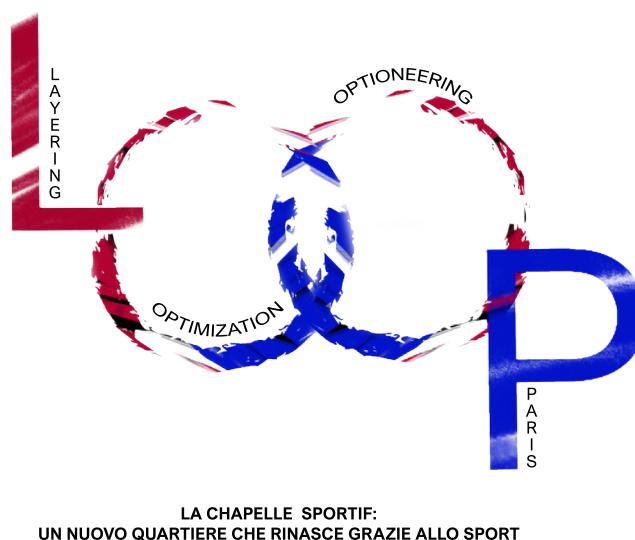


Figura II.1.4. Logo e motto del progetto urbanistico

“LOOP” è il progetto di rigenerazione urbana e comunitaria segnata dall’inclusività: il motto “la Chapelle sportif: un nuovo quartiere che rinasce grazie allo sport” è un’idea all’insegna di una nuova integrazione urbana fra Parigi, i suoi distretti e l’Ile de France che passa dal 18 arrondissement, con un coinvolgimento cittadino e creazione di una nuova comunità che permane oltre la manifestazione.

Le diverse lettere riassumono i principi fondamentali del progetto:

- “L” come layering, ossia la stratificazione di funzioni sia all’interno dell’area di progetto che nell’edificio oggetto di studio;
- “O” come optimization, intendendo l’interazione tra edificio e involucro al fine di garantire miglior confort per gli utenti;
- “O” come open, al fine di garantire l’accessibilità totale del progetto a tutti i fruitori;
- “P” come Paris, per mantenere vivo il legame con il contesto in cui il progetto si colloca.

Partendo dalle analisi conoscitive della zona del 18 arrondissement e dei distretti limitrofi e della loro reciproca relazione, vengono delineate alcune caratteristiche che rappresentano una guida nel rintracciare le richieste e le successive idee per rispondervi: la forte potenzialità della zona è quella di essere a cavallo fra la città di Parigi e il distretto di Seine Saint-Denis e avere al suo interno una popolazione fortemente attiva. Da qui il pensiero di sfruttare l’onda dei Giochi Olimpici 2024 e la sua posizione strategica per ricollegare la periferia alla città.

VISION



La sfida è quella di integrare, all'interno del complesso sistema parigino, un quartiere in via di trasformazione, promuovendo la rinascita di una comunità, attraverso lo sport.

In parallelo, per promuovere questo progetto vengono implementati i sistemi di housing, accessibilità e sistema del verde.

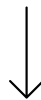
Da qui la nostra vision, che intreccia la partenza di un nuovo quartiere allo sviluppo dell'intera città.

WORKFLOW

Per delineare i passi utili alla definizione di obiettivi e strategie e per le scelte riassunte nella Concept map, il processo ha seguito le richieste estrapolate dall'analisi SWOT svolta, per poi intrecciarla con le istanze del bando di concorso della città di Parigi.

Richieste:

- Rispondere alla crescente domanda abitativa
- Connessione con i Giochi Olimpici e Paralimpici di Parigi 2024
- Creare un distretto con una programmazione mista abitativa/occupazione
- Favorire l'inclusione sociale
- Ricucitura dello spazio pubblico
- Arginare il crescente inquinamento atmosferico e acustico

Idee:

- Pianificare trasformazioni/riabilitazione di residenze
- Ammodernamento degli impianti sportivi nel sito
- Fornire nuove opportunità lavorative
- Realizzazione di nuovi spazi d'incontro
- Favorire il collegamento al nuovo polo universitario e al Villaggio Olimpico
- Ampliare i servizi di istruzione
- Gestione degli spostamenti
- Implementazione della mobilità dolce
- Riorganizzazione degli spazi verdi

DEFINIZIONE DELLE TEMATICHE

Le principali tematiche da affrontare risultano comunità, accessibilità e verde: il legame fra gli obiettivi e temi consiste nella declinazione di questi ultimi all'interno del contesto e rispondendo alle istanze di progetto.

Lo studio delle richieste previste da bando, a seguito fuse con l'analisi SWOT, hanno permesso la stesura dell'OSA: Obiettivi-Strategie-Azioni atte a realizzare la vision di progetto.

Obiettivi

Le tematiche vengono poi declinate nel contesto analizzato secondo le istanze di progetto, formulando gli obiettivi che costituiscono la motivazione e il perché della nostra proposta.

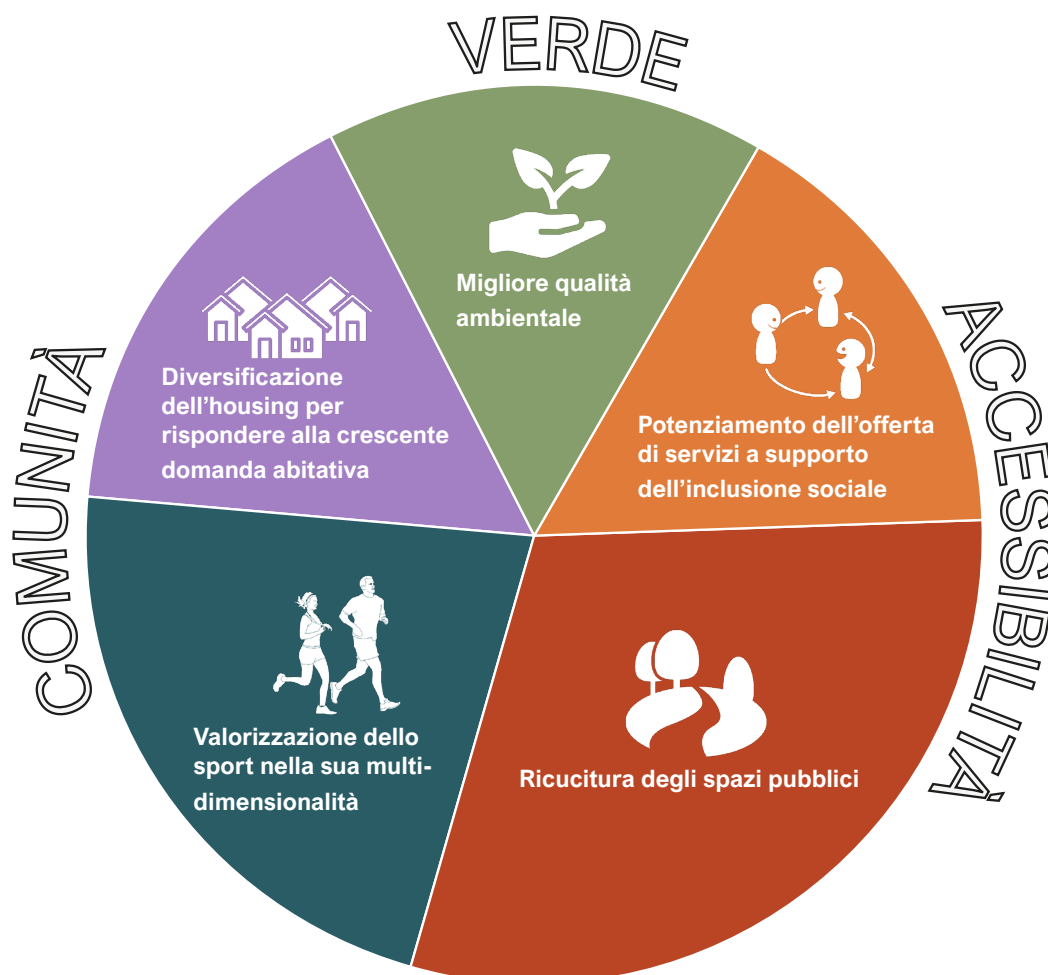


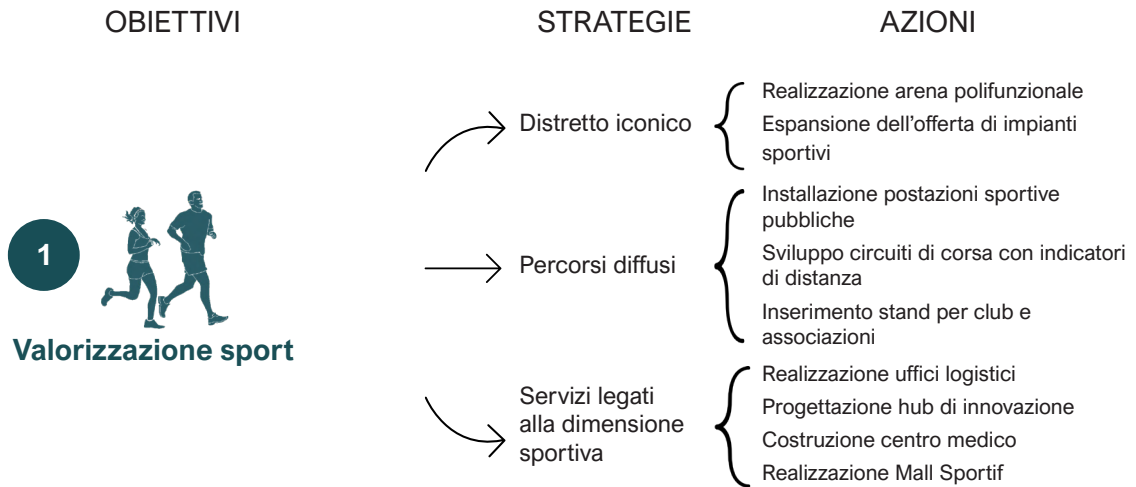
Figura II.1.5. Declinazione delle tematiche in obiettivi di progetto

Strategie

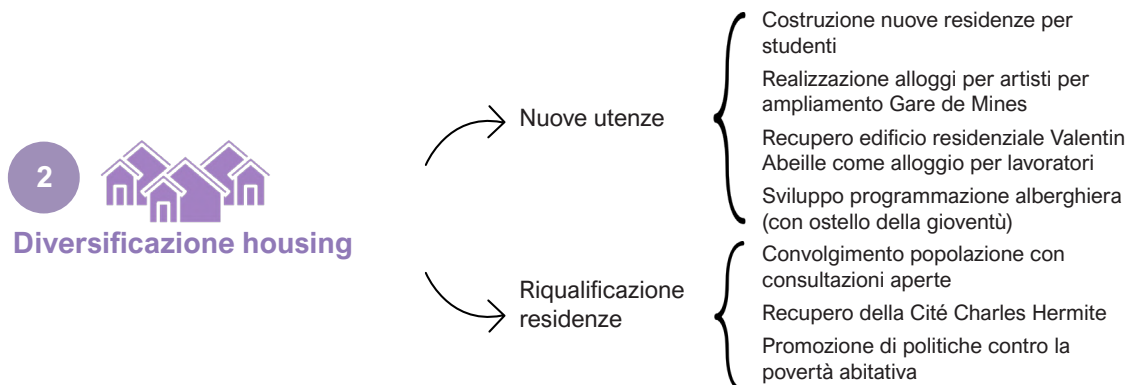
Segue quindi la definizione delle strategie e come intendiamo raggiungere gli obiettivi.

Azioni

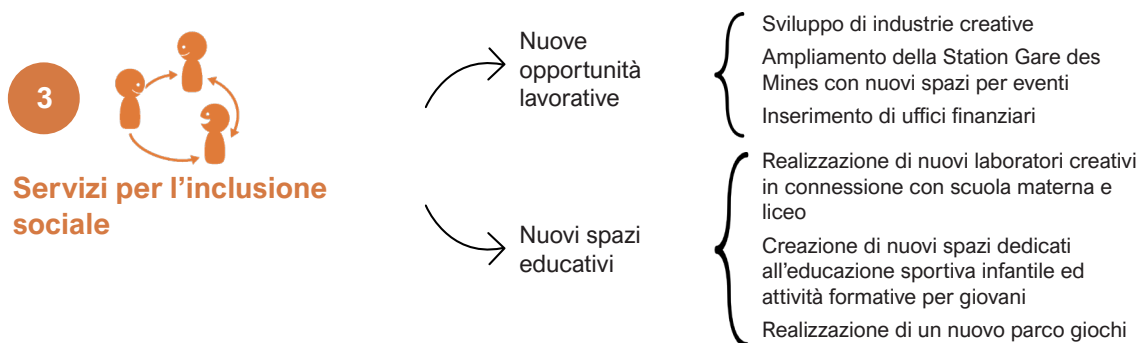
Infine, le azioni servono a concretizzare e localizzare gli obiettivi e strategie, identificando cosa intendiamo fare.



Il primo obiettivo si focalizza sulla valorizzazione dello sport e dei servizi legati a esso, in particolare tramite nuovi impianti sportivi diversificati, oltre a creare un impianto diffuso, al fine di coinvolgere l'intera cittadinanza. Inoltre, la realizzazione di nuovi servizi è atta a garantire nuova occupazione per la popolazione, fornendo spazi a canone zero per le nascenti start up sportive.



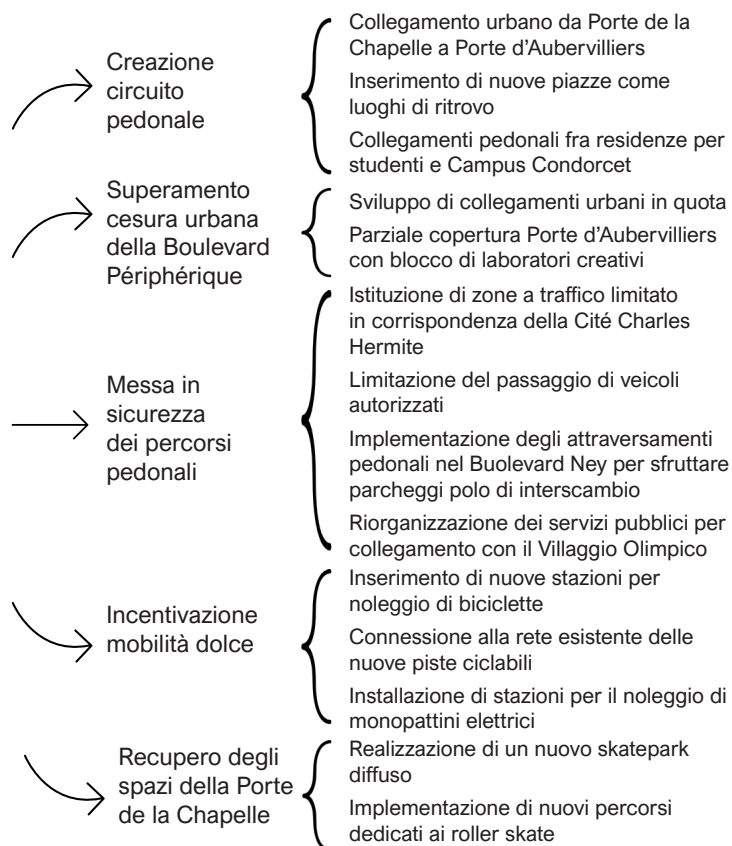
Il secondo obiettivo è incentrato sulla volontà di rispondere alla crescente domanda abitativa, creando un sistema di housing diversificato per i vari attori che popolano il distretto: la residenza per studenti, in collegamento con il Campus Condorcet, nuovi alloggi per artisti, correlati all'ampliamento della Station Gare des Mines, il recupero dell'edificio residenziale Valentin Abeille come alloggio per lavoratori e lo sviluppo di un nuovo ostello per la gioventù. Infine, la volontà è quella di aprire al dialogo con la popolazione tramite consultazioni aperte e promuovere politiche contro la povertà abitativa.



Il terzo obiettivo si concentra sul potenziamento dell'offerta di servizi a supporto dell'inclusione sociale, promuovendo l'offerta di nuove opportunità lavorative: industrie creative, nuovi spazi per eventi ad ampliamento della Station Gare des Mines e nuovi uffici

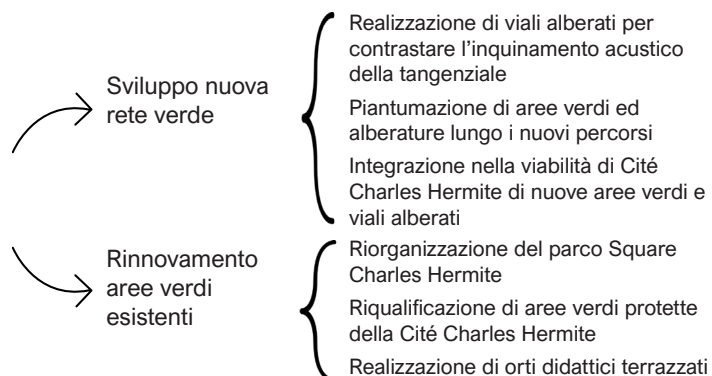
finanziari nella Paris Nord-Est Élargi. Questo viene realizzato insieme con la costituzione di nuovi spazi educativi per l'infanzia, come laboratori creativi, oltre che riqualifica di spazi dedicati all'educazione sportiva ed infine un nuovo parco giochi in prossimità del complesso scolastico.

4 Ricicatura spazi pubblici



Come quarto obiettivo figura la ricicatura degli spazi pubblici, tramite messa in sicurezza di percorsi pedonali esistenti, garantendo tutela a chi usufruisce del circuito, con istituzione di zone a traffico limitato e limitazioni al passaggio dei veicoli, oltre all'implementazione di attraversamenti verso i parcheggi del polo di interscambio Entrepôts Ney. La creazione di un circuito pedonale unico ha la volontà di collegare Porte de la Chapelle a Porte d'Aubervilliers e di creare un corridoio fra le residenze studentesche e il campus universitario Condorcet; l'idea è quella di superare la cesura urbana data dalla tangenziale, con collegamenti in quota e la parziale copertura di Port d'Aubervilliers con il blocco laboratori. Si vuole anche incentivare la mobilità dolce con nuove piste ciclabili e nuovi servizi di noleggio di monopattini elettrici e biciclette, oltre a recuperare gli spazi degradati e inutilizzati di Porte de la Chapelle come nuovo skatepark diffuso.

5 Migliore qualità ambientale

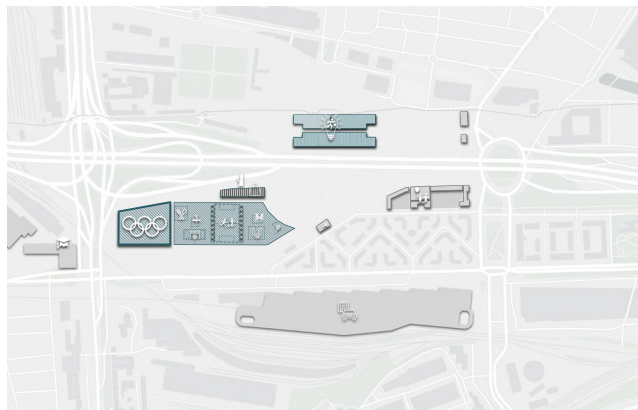











Infine, il quinto obiettivo è quello di migliorare la qualità ambientale dell'area tramite il rinnovamento delle aree verdi esistenti come il parco Square Charles Hermite e le aree protette della Cité Charles Hermite; simultaneamente vengono disposte piantumazioni e alberature lungo i nuovi percorsi, che lungo la tangenziale permettono di contrastare l'inquinamento acustico. Viene inoltre disposto un nuovo orto didattico lungo i terrazzamenti in prossimità del parco.

CONCEPT MAP





Riferimento tavola 11

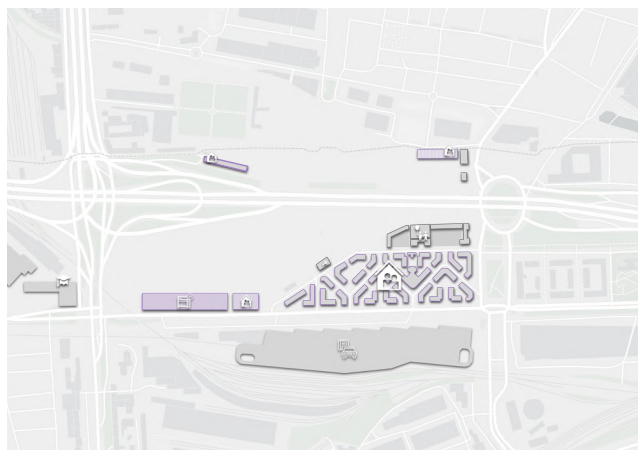
Al fine di individuare concretamente e graficamente la tabella degli OSA viene redatta una Concept map: in questo modo è possibile cogliere la corrispondenza fra le azioni e la loro restituzione grafica, localizzando gli elementi su cui si va ad agire.







-  1.1.1 Realizzazione di un'arena polifunzionale
-  1.1.2 Espansione dell'offerta degli impianti sportivi
-  Calcio
-  Trampolini elastici
-  Beach volley
-  Basket
-  Percorso avventura
-  Padel
-  Punto ristoro

- 1.2.1 Installazione di postazioni sportive lungo gli spazi pubblici a disposizione di tutti
- 1.2.2 Sviluppo di circuiti dedicati alla corsa con indicatori di distanza
- 1.2.3 Inserimento di stand a disposizione di associazioni e club sportivi

-  1.3.1 Realizzazione di nuovi uffici per la logistica degli impianti sportivi
-  1.3.2 Progettazione di nuovi spazi dedicati ad hub di innovazione per lo sport
-  1.3.3 Costruzione di un centro medico per la ricerca e la riabilitazione sportiva
-  1.3.4 Realizzazione di un nuovo Mall Sportif



-  2.1.1 Costruzione di nuove residenze per studenti in prossimità del nuovo polo universitario Campus Condorcet
-  2.1.2 Realizzazione di alloggi per artisti all'interno dell'ampliamento della Station Gare des Mines
- 2.1.3 Recupero dell'edificio residenziale Valentin Abeille come alloggio per i lavoratori
-  2.1.4 Sviluppo di una programmazione alberghiera in prossimità della nuova arena che contenga un ostello per la gioventù
- 2.2.1 Coinvolgimento della popolazione tramite consultazioni aperte al pubblico
- 2.2.2 Recupero della Cité Charles Hermite
-  2.2.3 Promozione di politiche contro la povertà abitativa

COMUNITÀ

1. Valorizzazione dello sport nella sua multi-dimensionalità

1.1 Realizzazione di un distretto sportivo iconico per la città di Parigi

1.2 Sviluppo di percorsi sportivi diffusi

1.3 Incentivazione allo sviluppo di servizi legati alla dimensione sportiva

COMUNITÀ

2. Diversificazione dell'housing per rispondere alla crescente domanda abitativa di Parigi

2.1 Inclusione di nuove tipologie di utenze

2.2 Riqualificazione delle residenze per l'attuale cittadinanza

O

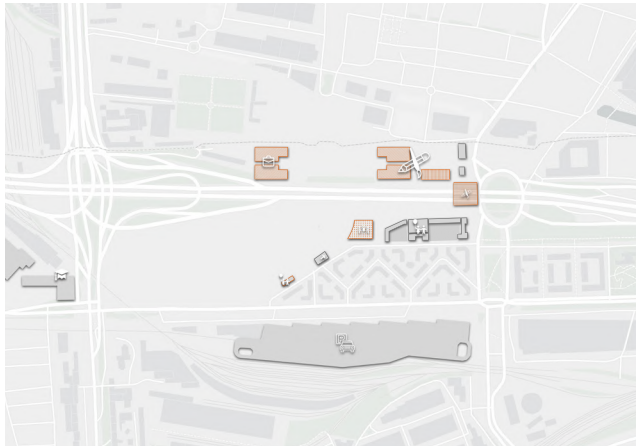
S

A

O

S

A









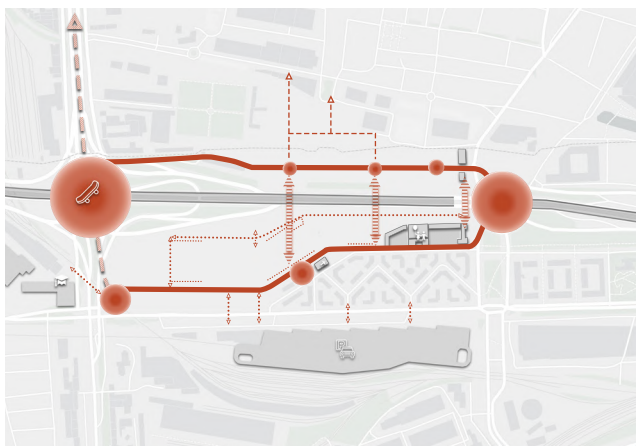
ACCESSIBILITÀ

3. *Potenziamento dell'offerta di servizi a supporto dell'inclusione sociale*

3.1 *Ricucitura sociale e di relazioni tramite l'offerta di nuove opportunità lavorative*

3.2 *Costituzione di nuovi spazi educativi per l'infanzia*

-  3.1.1 *Sviluppo di industrie creative vicine al polo artistico della Station Gare des Mines*
-  3.1.2 *Ampliamento della Station Gare des Mines con nuovi spazi per eventi e mostre*
-  3.1.3 *Inserimento di uffici finanziari nel cuore della dinamica Paris Nord-Est Élargi*
-  3.2.1 *Realizzazione di nuovi laboratori creativi in connessione con l'Ecole Maternelle Charles Hermite e il Lycée Camille Jenatzy*
-  3.2.2 *Riqualificazione dell'Espace Paris Jeune - La Villa con nuovi spazi dedicati all'educazione sportiva infantile ed attività formative per giovani*
-  3.2.3 *Realizzazione di un nuovo parco giochi in prossimità degli edifici scolastici*



ACCESSIBILITÀ

4. *Ricucitura degli spazi pubblici*









4.1 *Creazione di un circuito pedonale*

4.2 *Superamento della cesura urbana data dal Boulevard Périphérique*

4.3 *Messa in sicurezza dei percorsi pedonali*

4.4 *Incentivazione della mobilità dolce*

4.5 *Recupero degli spazi inutilizzati e degradati della Porte de la Chapelle*

-  4.1.1 *Implementazione di percorsi pedonali permeabili che permettano il collegamento urbano da Porte de la Chapelle a Porte d'Aubervilliers*
-  4.1.2 *Inserimento di nuove piazze come luoghi di ritrovo per la cittadinanza*
-  4.1.3 *Realizzazione di collegamenti pedonali che mettano in comunicazione le nuove residenze per studenti con il nuovo polo universitario Campus Condorcet*
-  4.1.4 *Sviluppo di collegamenti pedonali tra la residenza Valentin Abeille e la Station Gare de Mines intervallati da cortili produttivi*
-  4.2.1 *Sviluppo di collegamenti urbani in quota che permettano la connessione degli spazi separati dalla tangenziale*
- 4.2.2 *Parziale copertura della Porte d'Aubervilliers con il blocco dei laboratori creativi*
- 4.3.1 *Istituzione di zone a traffico limitato in corrispondenza della Cité Charles Hermite e Rue Charles Hermite con dissuasori della velocità*
- 4.3.2 *Limitazione del passaggio di veicoli autorizzati a partire dal vicolo Marteau fino alla Station Gare des Mines*
-  4.3.3 *Implementazione degli attraversamenti pedonali nel Boulevard Ney per poter sfruttare i parcheggi del vicino polo di interscambio Entrepôts Ney*
-  4.3.4 *Riorganizzazione delle attuali linee di servizio pubblico per il collegamento con il Villaggio Olimpico*
-  4.5.1 *Realizzazione di un nuovo skatepark diffuso*
- 4.5.2 *Implementazione di nuovi percorsi dedicati ai roller skate*

O

S

A

O

S

A








VERDE

5. Migliore qualità ambientale

5.1 Sviluppo di nuova rete verde

5.2 Rinnovo delle aree verdi esistenti

-  5.1.1 Realizzazione di viali alberati estesi lungo la tangenziale per contrastare l'inquinamento acustico
- 5.1.2 Piantumazione di aree verdi ed alberature lungo i nuovi percorsi
-  5.1.3 Integrazione di nuove aree verdi e viali alberati riqualificando la viabilità della Cité Charles Hermite
-  5.2.1 Riorganizzazione del parco Square Charles Hermite con spazi dedicati all'attività sportiva
-  5.2.2 Riqualificazione delle aree verdi protette della Cité Charles Hermite
-  5.2.3 Realizzazione di orti didattici terrazzati

O
S
A

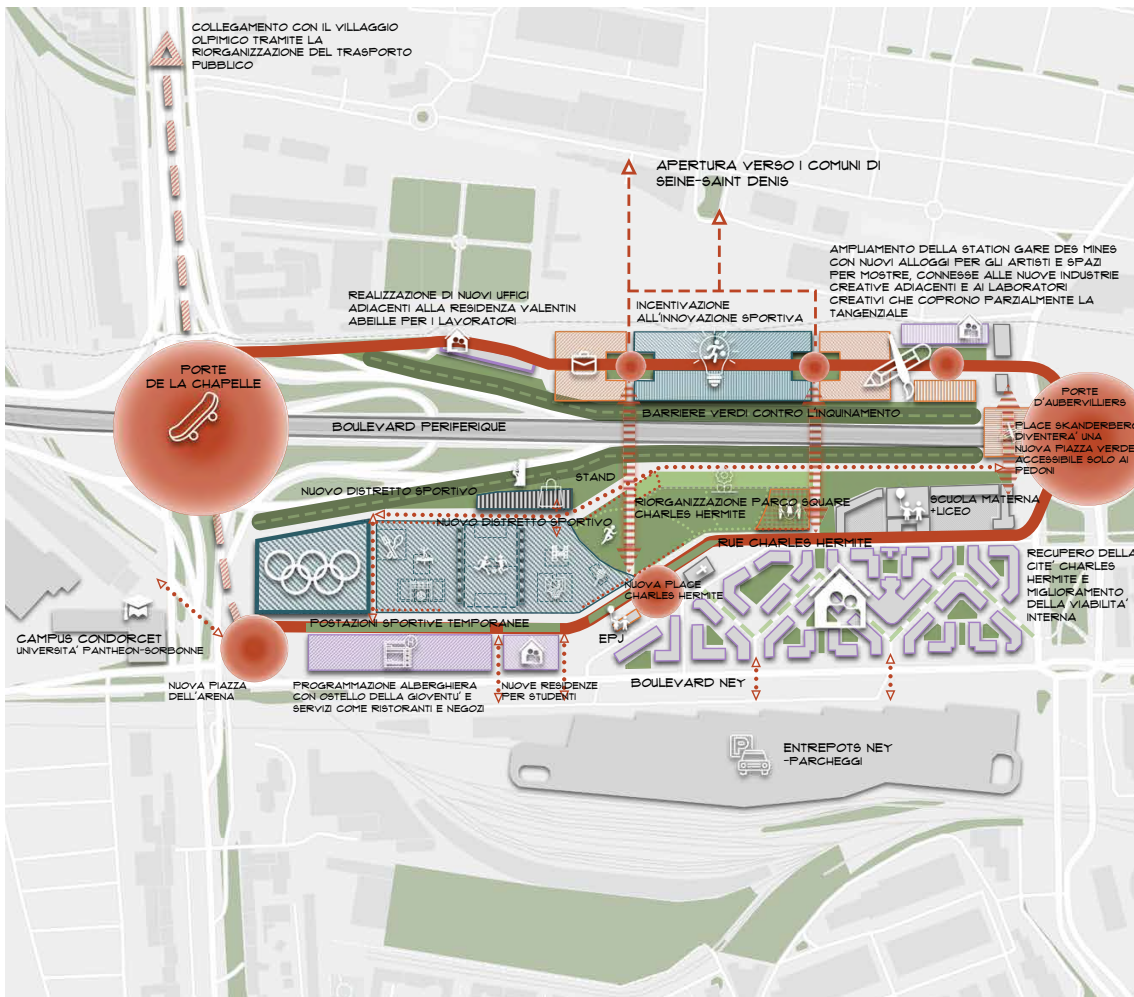


Figura II.1.6. Concept map

1.5. STEEP ANALYSIS: SCENARIO 1

		STRENGTHS	WEAKNESSES	OPPORTUNITIES	THREATS
SOCIETY	Demografia	Alto indice giovanile, nella fascia di età compresa tra i 20 e i 30 anni	Più di una persona su cinque vive in povertà	Progetto di un nuovo polo universitario	Assenza di politiche efficaci di sostegno per la crescente povertà abitativa
	Terziario	Alto livello di istruzione, principalmente a livello scolastico e universitario	Alta densità abitativa genera sovraffollamento degli edifici	Creazione di nuove strutture specializzate nell'accoglienza dei giovani	Crescita del valore fondiario della zona a seguito dei Giochi Olimpici e nuova gentrification
TECHNOLOGY	Mobilità	Varietà culturale e sociale degli abitanti	Netta divisione dettata dalla presenza dall'autostrada A1	Realizzazione di nuova edilizia collettiva e mix funzionale di attività commerciali	Innalzamento dei prezzi degli alloggi e conseguente aumento del pendolarismo dei giovani lavoratori
		Collegamenti efficienti fra centro, periferia e comuni limitrofi	Presenza costante di traffico e inquinamento acustico elevato	Promozione dei trasporti pubblici di superficie (tram, bus ecc.)	Aumento dell'inquinamento atmosferico per la grande quantità di spostamenti
	Infrastrutture	Investimenti su mobilità lenta, pedonale e ciclabile	Area sottostante la tangenziale risulta fortemente degradata a livello sociale e ambientale	Collegamento diretto al Villaggio Olimpico con nuovi GPE e tram	
Costruzioni				Istituzione di zone a traffico limitato	
				Utilizzo di materiali di origine biologica o cementi alternativi a bassa emissione	
				Integrazione di soluzioni costruttive a secco	
				Possibilità di integrare sistemi geotermici reversibili caldo/freddo all'interno degli edifici	

		STRENGTHS	WEAKNESSES	OPPORTUNITIES	THREATS
ENVIRONMENT	Energie rinnovabili	Presenza di acquiferi dell'Eocene Medio e Inferiore e della Falda Calcata	Installazione del solare termico per gli edifici legati alle attività abitative, commerciali e alberghiere/ristorative Copertura del 6% del fabbisogno elettrico annuo tramite fotovoltaico Inutilizzo di biomasse agricole	Terreno di progetto è favorevole all'energia geotermica a bassissima energia sulla falda superficiale	
			Dislivello di falda basso Velocità del vento pari a 5 m/s		Rete non sufficiente per lo sfruttamento dell'energia idroelettrica Impossibilità di sfruttamento di impianti eolici
		Radiazione omogenea sugli edifici		Possibilità di installazione di impianti fotovoltaici e solari termici Recupero e riutilizzo delle acque meteoriche il più vicino possibile a dove cade in città Il progetto si basa sulla rete di riscaldamento CPCU esistente nelle vicinanze e sulla possibile estensione della rete di raffreddamento CLIME-SPACE.	
	Vincoli	Presenza di elementi tutelati: aree verdi protette e edifici soggetti a vincolo storico-monumentale Nessun rischio idrogeologico			

		STRENGTHS	WEAKNESSES	OPPORTUNITIES	THREATS
ENVIRONMENT	Biodiversità	Bacini di biodiversità urbana e percorsi naturali facilmente accessibili			
	Inquinamento		Inquinamento acustico e ambientale dovuto all'intensa viabilità	Schermo di 5 m di altezza tra l'arena e le tribune del campo sportivo, al fine di garantire continuità di protezione del sito nei confronti del rumore	
	Isole di calore		Qualità dell'aria non soddisfa tutti gli standard		Innalzamento del gradiente di temperatura presente nelle varie isole di calore urbane
	Verde urbano	Vicinanza di spazi verdi facilmente raggiungibili a piedi	Frammentazione di spazi verdi	Realizzazione cintura verde	Aumento della densità del tessuto edificato contribuisce al fenomeno delle isole di calore
					Estensione del verde lineare lungo il perimetro di progetto
ECONOMICS	Occupazione	Alta presenza di forza lavoro e manodopera qualificata	Livello di retribuzione salariale inferiore rispetto alla media nazionale		
POLICY	Sport	Alta densità e varietà di piccoli impianti sportivi	Scarsità di impianti di grandi dimensioni	Presenza dei Giochi Olimpici e Paralimpici 2024	Aumento dei prezzi e disponibilità di materie prime legati alle manifestazioni
		Presenza di percorsi naturali per attività sportiva	Presenza di impianti sportivi degradati	Stanziamiento fondi per migliorare l'isolamento acustico degli impianti sportivi esistenti	Innalzamento del costo dell'energia, necessaria per il funzionamento degli impianti sportivi

1.6. STEEP ANALYSIS: SCENARIO 2

		STRENGTHS	WEAKNESSES	OPPORTUNITIES	THREATS
SOCIETY	Demografia	Alto indice giovanile, nella fascia di età compresa tra i 20 e i 30 anni Alto livello di istruzione, principalmente a livello scolastico e universitario	Più di una persona su cinque vive in povertà	Progetto di un nuovo polo universitario Creazione di nuove strutture specializzate nell'accoglienza dei giovani	Assenza di politiche efficaci di sostegno per la crescente povertà abitativa Crescita del valore fondiario della zona a seguito dei Giochi Olimpici e nuova gentrificazione
	Terziario	Varietà culturale e sociale degli abitanti	Alta densità abitativa genera sovraffollamento degli edifici	Realizzazione di nuova edilizia collettiva e mix funzionale di attività commerciali Allestimento di spazi di coworking e innovazione	Innalzamento dei prezzi degli alloggi e conseguente aumento del pendolarismo dei giovani lavoratori
	Spazi collettivi	Presenza di ampi spazi in disuso		Implementazione di spazi ludici Costituzione di nuove piazze e spazi di aggregazione	
	Educazione	Ampia offerta didattica e strutture scolastiche		Realizzazione di un orto didattico	
TECHNOLOGY	Mobilità	Collegamenti efficienti fra centro, periferia e comuni limitrofi Investimenti su mobilità lenta, pedonale e ciclabile	Netta divisione dettata dalla presenza dall'autostrada A1 Presenza costante di traffico e inquinamento acustico elevato	Promozione dei trasporti pubblici di superficie (tram, bus ecc.) Collegamento diretto al Villaggio Olimpico con nuovi GPE e tram	Aumento dell'inquinamento atmosferico per la grande quantità di spostamenti
	Infrastrutture		Area sottostante la tangenziale risulta fortemente degradata a livello sociale e ambientale	Fruizione da parte del turismo delle nuove linee infrastrutturali Istituzione di zone a traffico limitato Rigenerazione tramite un nuovo skatepark	

		STRENGTHS	WEAKNESSES	OPPORTUNITIES	THREATS
TECHNOLOGY	Costruzioni			Utilizzo di materiali di origine biologica o cementi alternativi a bassa emissione Integrazione di soluzioni costruttive a secco Possibilità di integrare sistemi geotermici reversibili caldo/freddo all'interno degli edifici	
	Energie rinnovabili	Presenza di acquiferi dell'Eocene Medio e Inferiore e della Falda Calcata	Installazione del solare termico per gli edifici legati alle attività abitative, commerciali e alberghiere/ristorative Copertura del 6% del fabbisogno elettrico annuo tramite fotovoltaico Inutilizzo di biomasse agricole Dislivello di falda basso Velocità del vento pari a 5 m/s	Terreno di progetto è favorevole all'energia geotermica a bassissima energia sulla falda superficiale	Aumento dell'inquinamento atmosferico per la grande quantità di spostamenti Rete non sufficiente per lo sfruttamento dell'energia idroelettrica Impossibilità di sfruttamento di impianti eolici
ENVIRONMENT		Radiazione omogenea sugli edifici		Possibilità di installazione di impianti fotovoltaici e solari termici	

		STRENGTHS	WEAKNESSES	OPPORTUNITIES	THREATS
ENVIRONMENT	Energie rinnovabili			<p>Recupero e riutilizzo delle acque meteoriche il più vicino possibile a dove cade in città</p> <p>Il progetto si basa in particolare sulla rete di riscaldamento CPCU esistente nelle vicinanze e sulla possibile estensione della rete di raffreddamento CLIME-SPACE</p>	
	Vincoli	<p>Presenza di elementi tutelati: aree verdi protette e edifici soggetti a vincolo storico-monumentale</p> <p>Nessun rischio idrogeologico</p>			
	Biodiversità	<p>Bacini di biodiversità urbana e percorsi naturali facilmente accessibili</p>			
	Inquinamento		<p>Inquinamento acustico e ambientale dovuto all'intensa viabilità</p> <p>Qualità dell'aria non soddisfa tutti gli standard</p>	<p>Schermo di 5m di altezza tra l'arena e le tribune del campo sportivo, al fine di garantire continuità di protezione del sito nei confronti del rumore</p>	
	Isole di calore		<p>Presenza di isole di calore urbane diffuse</p>		<p>Innalzamento del gradiente di temperatura presente nelle varie isole di calore urbane</p> <p>Aumento della densità del tessuto edificato contribuisce al fenomeno delle isole di calore</p>

		STRENGTHS	WEAKNESSES	OPPORTUNITIES	THREATS
ENVIRONMENT	Verde urbano	Vicinanza di spazi verdi facilmente raggiungibili a piedi	Frammentazione di spazi verdi	Realizzazione cintura verde Estensione del verde lineare lungo il perimetro di progetto	
				Terreno di progetto è favorevole all'energia geotermica a bassissima energia sulla falda superficiale	
ECONOMICS	Occupazione	Alta presenza di forza lavoro e manodopera qualificata			
POLICY	Sport	Alta densità e varietà di piccoli impianti sportivi		Presenza dei Giochi Olimpici e Paralimpici 2024	Aumento dei prezzi e disponibilità di materie prime legati alle manifestazioni
		Presenza di percorsi naturali per attività sportiva	Presenza di impianti sportivi degradati	Promozione della pratica sportiva tramite competizioni aperte alla cittadinanza Stanziamiento fondi per migliorare l'isolamento acustico degli impianti sportivi esistenti	

1.7. OSA: SCENARIO 1

OBIETTIVI	STRATEGIE
1. Realizzazione di un impianto sportivo parigino strutturante e compatto	1.1 Connessione con i Giochi Olimpici e Paralimpici di Parigi 2024
	1.2 Ammodernamento degli impianti sportivi locali presenti nel sito che mantenga il numero di campi da gioco
2. Trasformazione delle porte in "Grandi piazze parigine", per collegare Parigi e le città confinanti con Seine-Saint-Denis	2.1 Riqualificazione della Porte de la Chapelle
	2.2 Riqualificazione della Porte d'Aubervilliers
3. Riqualificazione edilizia abitativa di Cité Charles Hermite e dell'edificio Valentin Abeille	3.1 Incentivazione di politiche contro la povertà abitativa e per il miglioramento delle condizioni di abitabilità
	3.2 Riqualificazione delle strade a favore della mobilità sostenibile
4. Creare un distretto con una programmazione mista	4.1 Riqualificazione degli esistenti spazi per l'infanzia
	4.2 Ampliamento della Station Gare de Mines
	4.3 Sviluppo dell'attrattiva economica per gli spazi di interfaccia in un approccio di apertura e riqualificazione urbana tra Parigi e i suoi vicini
	4.4 Creazione di un centro commerciale ludico nei pressi dell'Arena
	4.5 Sviluppo di misure contro l'inquinamento
5. Sviluppo dei collegamenti	5.1 Cancellare il più possibile il confine della tangenziale che oggi separa Parigi dai comuni limitrofi
	5.2 Creare collegamenti est-ovest più visibili
	5.3 Sviluppo della piazza dell'Arena
	5.4 Rafforzamento della biodiversità e collegamento tra spazi verdi

CODICE	AZIONE
1.1.1	Collegamento diretto al Villaggio Olimpico con nuovi GPE e linee tramviarie
1.1.2	Creazione di un'arena polisportiva
1.2.1	Stanziamiento di fondi per migliorare l'isolamento acustico degli impianti sportivi esistenti
1.2.2	Sviluppo di percorsi morbidi che favorisca i percorsi sportivi
2.1.1	Dare all'arena una vocazione metropolitana (sale congressi e competizioni internazionali) e di quartiere (palestra cittadina)
2.1.2	Creazione di nuove strutture specializzate nell'accoglienza dei giovani e alloggi per studenti in connessione con il nuovo polo universitario Chapelle Condorcet
2.2.1	Parziale copertura della Porte d'Aubervilliers con un blocco misto
2.2.2	La rampa della circonvallazione che conduce alla Porte d'Aubervilliers sarà spostata per fare spazio alla continuazione della foresta lineare
2.2.3	Riqualficazione della Station Gare des Mines
3.1.1	Trasformazioni o riabilitazioni parziali delle residenze in alloggi per studenti
3.1.2	Costruzione di nuovi edifici residenziali, tra cui alloggi sociali (35%) e alloggi in vendita (43%), oltre che di alloggi intermedi (22%)
3.2.1	Rue Charles Hermite sarà ridisegnata per garantire un miglior collegamento con il Boulevard Ney
3.2.2	Le strade interne del quartiere Charles Hermite (vie Gaston Darboux, Charles Lauth e Gaston Tissandier) saranno ridisegnate come percorsi paesaggistici
3.2.3	Istituzione di zone a traffico limitato (zone 30) in corrispondenza di Cité Charles Hermite
3.2.4	Razionalizzazione dei posti auto per ampliare i marciapiedi e di creare spazi piantumati, in modo da riqualificare gli alloggi del quartiere situati al piano terra
4.1.1	Sviluppo di attrezzature per la "prima infanzia" e miglioramento della scuola materna esistente
4.2.1	Nuovi edifici residenziali per gli artisti
4.2.2	Sviluppo delle attività culturali e di svago già presenti
4.3.1	Sviluppo a nord della circonvallazione di un programma orientato a programmi economici organizzati intorno a cortili produttivi per interfacciarsi con le realtà esistenti
4.3.2	Allestimento di spazi di coworking e hub di innovazione
4.3.3	Connessione con la Manifattura Chanel che parteciperà allo sviluppo della Porte d'Aubervilliers e sarà interessata dalla riprogettazione dello spazio pubblico dovuta all'arrivo del tram T8
4.4.1	Sviluppo di una programmazione alberghiera con ostelli della gioventù
4.4.2	Sviluppo di attività commerciali, sociali e sportive all'aperto
4.5.1	Installazione di un edificio e di uno schermo ai margini della circonvallazione per attenuare la dispersione degli inquinanti verso gli impianti sportivi
4.5.2	Creazione di una corsia dedicata per taxi, autobus, car-pooling e accessi di emergenza con la riconversione di circa dieci ettari dell'attuale tangenziale parigina a terreno
5.1.1	Sviluppo di un collegamento urbano intermedio in quota che permetta la connessione degli spazi separati dalla tangenziale e favorisca la fuga visiva
5.2.1	Creazione di una strada est-ovest (prolungando il vicolo cieco di Marteau) per collegare la Porte de la Chapelle a Porte d'Aubervilliers
5.2.2	Creazione di un grande percorso pedonale lungo il centro commerciale che colleghi il piazzale dell'Arena e la nuova Place Charles Hermite
5.3.1	Riprogettazione dello spazio pubblico dell'Avenue de la Porte de la Chapelle (CDG Express e la sede universitaria del Campus Condorcet)
5.3.2	Connessione con il centro commerciale ludico che potrà ospitare attività sportive all'aperto fino alla Porte d'Aubervilliers, fornendo un collegamento tra la scala metropolitana e di quartiere
5.4.1	Il Boulevard Ney sarà riqualificato e de-attrezzato tra rue de la Chapelle e rue Charles Hermite

1.8. OSA: SCENARIO 2

OBIETTIVI	STRATEGIE
1. Valorizzazione dello sport nella sua multi-dimensionalità	1.1 Realizzazione di un distretto sportivo iconico per la città di Parigi
	1.2 Sviluppo di percorsi sportivi diffusi
	1.3 Incentivazione allo sviluppo di servizi legati alla dimensione sportiva
2. Diversificazione dell'housing per rispondere alla crescente domanda abitativa di Parigi	2.1 Inclusione di nuove tipologie di utenze
	2.2 Riqualificazione delle residenze per l'attuale cittadinanza
3. Potenziamento dell'offerta di servizi a supporto dell'inclusione sociale	3.1 Ricucitura sociale e di relazioni tramite l'offerta di nuove opportunità lavorative
	3.2 Costituzione di nuovi spazi educativi per l'infanzia
4. Ricucitura degli spazi pubblici	4.1 Creazione di un circuito pedonale
	4.2 Superamento della cesura urbana data dal Boulevard Périphérique

CODICE AZIONE	AZIONE
1.1.1	Realizzazione di un'arena polifunzionale
1.1.2	Espansione dell'offerta degli impianti sportivi (calcio, trampolini elastici, beach volley, basket, percorso avventura, padel)
1.2.1	Installazione di postazioni sportive lungo gli spazi pubblici a disposizione di tutti
1.2.2	Sviluppo di circuiti dedicati alla corsa con indicatori di distanza
1.2.3	Inserimento di stand a disposizione di associazioni e club sportivi
1.3.1	Realizzazione di nuovi uffici per la logistica degli impianti sportivi
1.3.2	Progettazione di nuovi spazi dedicati ad hub di innovazione per lo sport
1.3.3	Costruzione di un centro medico per la ricerca e la riabilitazione sportiva
1.3.4	Realizzazione di un nuovo Mall sportif
2.1.1	Costruzione di nuove residenze per studenti in prossimità del nuovo polo universitario Campus Condorcet
2.1.2	Realizzazione di alloggi per artisti all'interno dell'ampliamento della Station Gare des Mines
2.1.3	Recupero dell'edificio residenziale Valentin Abeille come alloggi per i lavoratori
2.1.4	Sviluppo di una programmazione alberghiera in prossimità della nuova Arena che contenga un ostello per la gioventù
2.2.1	Coinvolgimento della popolazione tramite consultazioni aperte al pubblico
2.2.2	Recupero della Cité Charles Hermite
2.2.3	Promozione di politiche contro la povertà abitativa
3.1.1	Sviluppo di industrie creative vicine al polo artistico della Station Gare des Mines
3.1.2	Ampliamento della Station Gare des Mines con nuovi spazi per eventi e mostre
3.1.3	Inserimento di uffici finanziari nel cuore della dinamica Paris Nord-Est Élargi
3.2.1	Realizzazione di nuovi laboratori creativi in connessione con l'Ecole Maternelle Charles Hermite e il Lycée Camille Jenatzy
3.2.2	Riqualficazione dell'Espace Paris Jeune (EPJ) - La Villa con nuovi spazi dedicati all'educazione sportiva infantile ed attività formative per giovani
3.2.3	Realizzazione di un nuovo parco giochi in prossimità degli edifici scolastici
4.1.1	Implementazione di percorsi pedonali permeabili che permettano il collegamento urbano da Porte de la Chapelle a Porte d'Aubervilliers
4.1.2	Inserimento di nuove piazze come luoghi di ritrovo per la cittadinanza
4.1.3	Realizzazione di collegamenti pedonali che mettano in comunicazione le nuove residenze per studenti con il nuovo polo universitario Campus Condorcet
4.1.4	Sviluppo di collegamenti pedonali tra la residenza Valentin Abeille e la Station Gare de Mines intervallati da cortili produttivi
4.2.1	Sviluppo di collegamenti urbani in quota che permettano la connessione degli spazi separati dalla tangenziale
4.2.2	Parziale copertura della Porte d'Aubervilliers con il blocco dei laboratori creativi

OBIETTIVI	STRATEGIE
4. Ricucitura degli spazi pubblici	4.3 Messa in sicurezza dei percorsi pedonali
	4.4 Incentivazione della mobilità dolce
	4.5 Recupero degli spazi inutilizzati e degradati della Porte de la Chapelle
5. Migliore qualità ambientale	5.1 Sviluppo di nuova rete verde
	5.2 Rinnovamento delle aree verdi esistenti

CODICE AZIONE	AZIONE
4.3.1	Istituzione di zone a traffico limitato in corrispondenza della Cité Charles Hermite e Rue Charles Hermite con dissuasori della velocità
4.3.2	Limitazione del passaggio di veicoli autorizzati a partire dal vicolo Marteau fino alla Station Gare des Mines
4.3.3	Implementazione degli attraversamenti pedonali nel Boulevard Ney per poter sfruttare i parcheggi del vicino polo di interscambio Entrepôts Ney
4.3.4	Riorganizzazione delle attuali linee di servizio pubblico per il collegamento con il Villaggio Olimpico
4.4.1	Inserimento di nuove stazioni Vélib' per il noleggio di biciclette
4.4.2	Realizzazione di piste ciclabili connesse alla rete esistente
4.4.3	Installazione di stazioni Dott per il noleggio di monopattini elettrici
4.5.1	Realizzazione di un nuovo skatepark diffuso
4.5.2	Implementazione di nuovi percorsi dedicati ai roller
5.1.1	Realizzazione di viali alberati estesi lungo la tangenziale per contrastare l'inquinamento acustico presente nell'area
5.1.2	Piantumazione di aree verdi ed alberature lungo i nuovi percorsi
5.1.3	Integrazione di nuove aree verdi e viali alberati riqualificando la viabilità della Cité Charles Hermite
5.2.1	Riorganizzazione del parco Square Charles Hermite con spazi dedicati all'attività sportiva
5.2.2	Riqualificazione delle aree verdi protette della Cité Charles Hermite
5.2.3	Realizzazione di orti didattici terrazzati

1.9. WILSON MATRIX: SCENARIO 1

La matrice di Wilson rappresenta uno strumento utile per identificare i fattori trainanti di uno scenario secondo i criteri di importanza e incertezza.

In genere, una scala qualitativa dal basso all'alto è utile per localizzare i driver all'interno dei quadranti.

I quadranti superiori della matrice contengono i fattori più importanti, mentre la parte inferiore della matrice contiene i fattori più incerti.

Per identificare i fattori trainanti più rilevanti, nella definizione degli obiettivi e delle strategie di ogni scenario devono essere considerati i quadranti contenenti i fattori più importanti e meno incerti.

Questa sezione viene poi riproposta e applicata al progetto in variante rispetto a quello del bando, in modo da evidenziare la scala di fattori differenti all'interno degli scenari.

LIVELLO DI IMPATTO

- 1.1.1 Collegamento diretto al Villaggio Olimpico con nuovi GPE e linee tramviarie
- 1.1.2 Creazione di un'Arena polisportiva
- 2.1.2 Creazione di nuove strutture specializzate nell'accoglienza dei giovani e alloggi per studenti in connessione con il nuovo polo universitario Chapelle Condorcet
- 4.2.2 Sviluppo delle attività culturali e di svago già presenti
- 5.2.1 Creazione di una strada est-ovest (prolungando il vicolo cieco di Marteau) per collegare la Porte de la Chapelle a Porte d'Aubervilliers
- 5.2.2 Creazione di un grande percorso pedonale lungo il centro commerciale che colleghi il piazzale dell'Arena e la nuova Place Charles Hermite

- 2.2.3 Riqualficazione della Station Gare des Mines
- 3.2.4 Razionalizzazione dei posti auto per ampliare i marciapiedi e di creare spazi piantumati, in modo da riqualificare gli alloggi del quartiere situati al piano terra
- 4.4.2 Sviluppo di attività commerciali, sociali e sportive all'aperto

LIVELLO DI INCERTEZZA

- 2.1.1 Dare all'arena una vocazione metropolitana (sale congressi e competizioni internazionali) e di quartiere (palestra cittadina)
- 3.2.1 Rue Charles Hermite sarà ridisegnata per garantire un miglior collegamento con il ridisegnato Boulevard Ney
- 4.3.2 Allestimento di spazi di coworking e hub di innovazione
- 4.4.1 Sviluppo di una programmazione alberghiera con ostelli della gioventù
- 5.1.1 Sviluppo di un collegamento urbano intermedio in quota che permetta la connessione degli spazi separati dalla tangenziale e favorisca la fuga visiva.
- 1.2.2 Sviluppo di percorsi morbidi che favorisca i percorsi sportivi
- 3.1.2 Costruzione di nuovi edifici residenziali, tra cui alloggi sociali (35%) e alloggi in vendita (43%), oltre che di alloggi intermedi (22%)
- 3.2.3 Istituzione di zone a traffico limitato (zone 30) in corrispondenza di Cité Charles Hermite e la piazza antistante
- 4.2.1 Nuovi edifici residenziali per gli artisti
- 4.3.1 Sviluppo a nord della circonvallazione di un programma orientato a programmi economici organizzati intorno a cortili produttivi per interfacciarsi con le realtà esistenti
- 5.3.2 Connessione con il centro commerciale ludico che potrà ospitare attività sportive all'aperto fino alla Porte d'Aubervilliers, fornendo un collegamento tra la scala metropolitana e la scala di quartiere.
- 4.1.1 Sviluppo di attrezzature per la "prima infanzia" e miglioramento degli spazi della scuola materna esistente
- 2.2.1 Parziale copertura della Porte d'Aubervilliers con un blocco misto che contribuirà a rafforzare questa emergente polarità intercomunale
- 3.1.1 Trasformazioni o riabilitazioni parziali delle residenze in alloggi per studenti
- 4.5.1 Installazione di un edificio e di uno schermo ai margini della circonvallazione per attenuare la dispersione degli inquinanti verso gli impianti sportivi
- 1.2.1 Stanziamento di fondi per migliorare l'isolamento acustico degli impianti sportivi esistenti
- 5.2.2 Creazione di un grande percorso pedonale lungo il centro commerciale che colleghi il piazzale dell'Arena e la nuova Place Charles Hermite
- 5.4.1 Il Boulevard Ney sarà riqualificato e de-attrezzato tra rue de la Chapelle e rue Charles Hermite
- 2.2.2 La rampa della circonvallazione che conduce alla Porte d'Aubervilliers sarà spostata per fare spazio alla continuazione della foresta lineare
- 3.2.2 Le strade interne del quartiere Charles Hermite (vie Gaston Darboux, Charles Lauth e Gaston Tissandier) saranno ridisegnate come percorsi paesaggistici
- 4.3.3 Connessione con la Manifattura Chanel che parteciperà allo sviluppo della Porte d'Aubervilliers e sarà interessata dalla riprogettazione dello spazio pubblico dovuta all'arrivo del tram T8

1.10. WILSON MATRIX: SCENARIO 2

LIVELLO DI IMPATTO

- 1.1.1 Realizzazione di un'arena polifunzionale
- 1.1.2 Espansione dell'offerta degli impianti sportivi (calcio, trampolini elastici, beach volley, basket, percorso avventura, padel)
- 1.3.2 Progettazione di nuovi spazi dedicati ad hub di innovazione per lo sport
- 2.1.1 Costruzione di nuove residenze per studenti in prossimità del nuovo polo universitario Campus Condorcet
- 4.1.1 Implementazione di percorsi pedonali permeabili che permettano il collegamento urbano da Porte de la Chapelle a Porte d'Aubervilliers
- 4.1.2 Inserimento di nuove piazze come luoghi di ritrovo per la cittadinanza
- 4.3.4 Riorganizzazione delle attuali linee di servizio pubblico per il collegamento con il Villaggio Olimpico
- 4.4.2 Realizzazione di piste ciclabili connesse alla rete esistente
- 1.3.3 Costruzione di un centro medico per la ricerca e la riabilitazione sportiva e di orti didattici terrazzati
- 2.2.1 Coinvolgimento della popolazione tramite consultazioni aperte al pubblico
- 3.2.1 Realizzazione di nuovi laboratori creativi in connessione con l'Ecole Maternelle Charles Hermite e il Lycée Camille Jenatzy
- 3.2.2 Riqualificazione dell'Espace Paris Jeune (EPJ) - La Villa con nuovi spazi dedicati all'educazione sportiva infantile ed attività formative per giovani
- 3.2.3 Realizzazione di un nuovo parco giochi in prossimità degli edifici scolastici
- 5.1.2 Piantumazione di aree verdi ed alberature lungo i nuovi percorsi
- 5.2.1 Riorganizzazione del parco Square Charles Hermite con spazi dedicati all'attività sportiva
- 1.2.2 Sviluppo di circuiti dedicati alla corsa con indicatori di distanza
- 1.2.3 Inserimento di stand a disposizione di associazioni e club sportivi
- 1.3.4 Realizzazione di un nuovo Mall sportif
- 4.3.1 Istituzione di zone a traffico limitato in corrispondenza della Cité Charles Hermite e Rue Charles Hermite con dissuasori della velocità
- 4.4.1 Inserimento di nuove stazioni Vélib' per il noleggio di biciclette
- 4.4.3 Installazione di stazioni Dott per il noleggio di monopattini elettrici
- 5.2.3 Realizzazione di orti didattici terrazzati

LIVELLO DI INCERTEZZA

- 1.2.1 Installazione di postazioni sportive lungo gli spazi pubblici a disposizione di tutti
- 1.3.1 Realizzazione di nuovi uffici per la logistica degli impianti sportivi
- 2.1.4 Sviluppo di una programmazione alberghiera in prossimità della nuova Arena che contenga un ostello per la gioventù
- 4.2.1 Sviluppo di collegamenti urbani in quota che permettano la connessione degli spazi separati dalla tangenziale
- 4.3.3 Implementazione degli attraversamenti pedonali nel Boulevard Ney per poter sfruttare i parcheggi del vicino polo di interscambio Entre-pôts Ney
- 5.1.1 Realizzazione di viali alberati estesi lungo la tangenziale per contrastare l'inquinamento acustico
- 2.1.2 Realizzazione di alloggi per artisti all'interno dell'ampliamento della Station Gare des Mines
- 3.1.2 Ampliamento della Station Gare des Mines con nuovi spazi per eventi e mostre
- 4.5.1 Realizzazione di un nuovo skatepark diffuso
- 4.5.2 Implementazione di nuovi percorsi dedicati ai roller
- 5.2.2 Riqualificazione delle aree verdi protette della Cité Charles Hermite
- 5.1.3 Integrazione di nuove aree verdi e viali alberati riqualificando la viabilità della Cité Charles Hermite
- 4.2.2 Parziale copertura della Porte d'Aubervilliers con il blocco dei laboratori creativi
- 2.1.3 Recupero dell'edificio residenziale Valentin Abeille come alloggi per i lavoratori
- 2.2.3 Promozione di politiche contro la povertà abitativa
- 2.2.2 Recupero della Cité Charles Hermite
- 3.1.1 Sviluppo di industrie creative vicine al polo artistico della Station Gare des Mines
- 3.1.3 Inserimento di uffici finanziari nel cuore della dinamica Paris Nord-Est Élargi

1.11. MATRICE D'IMPATTO: SCENARIO 1

	1.1.1	1.1.2	1.2.1	1.2.2	2.1.1	2.1.2	2.2.1	2.2.2	2.2.3	3.1.1	3.1.2	3.2.1	3.2.2	3.2.3	3.2.4	4.1.2	4.2.1	4.2.2	4.3.1	4.3.2	4.3.3	4.4.1	4.4.2	4.5.1	4.5.2	5.1.1	5.2.1	5.2.2	5.3.1	5.3.2	5.4.1		
24	3	0	0	0	3	0	0	-1	1	1	1	1	0	0	-1	0	0	1	0	2	2	1	0	0	0	3	0	3	1	2	0	1	
38	3	1	1	3	2	1	-1	0	0	2	1	2	0	0	-1	0	1	0	2	2	2	1	2	1	3	1	2	2	1	2	2		
6	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	1	0	0	0	0	1	
36	3	0	1	1	1	1	1	-2	0	1	1	2	0	0	-1	0	0	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	3	3	2	1	2	
31	0	2	1	0	1	0	1	0	0	3	0	1	0	0	1	1	0	2	1	1	0	2	1	1	3	1	1	1	3	2	2	1	
27	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1	2	1	1	1	1	3	0	2	0	1	1	2	3	
3	-1	-1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-2	0	0	0	0	3	-2	0	2	2	1	2	2	
30	1	0	0	0	-2	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	2	2	1	2	2	1	0	0	3	1	2	1	2	1	3	2	
42	1	2	0	0	1	3	0	0	1	3	1	3	3	2	2	1	1	1	1	1	0	1	2	3	1	1	1	1	2	1	2	2	
38	1	1	1	0	1	0	2	0	1	3	1	3	3	2	2	1	3	2	1	0	0	3	0	1	1	1	1	0	2	1	2	1	
32	1	2	0	0	2	1	0	0	1	1	1	1	2	3	0	0	1	1	1	1	0	1	1	3	1	0	3	3	2	0	0	3	
20	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	3	2	0	0	3	1	0	0	1	0	0	0	0	1	3	0	0	0	1	0	0	1	
18	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	3	3	3	0	-1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	3	
9	-1	-1	0	1	-1	1	0	0	0	2	2	0	1	-1	0	0	1	0	0	-1	0	0	-1	0	0	0	2	0	1	1	0	3	
18	0	0	0	0	0	1	2	0	1	1	1	0	0	1	0	0	2	1	0	1	0	0	0	2	1	2	1	1	0	0	1	4.1.2	
28	0	1	1	0	0	0	1	0	2	1	3	1	0	0	1	0	3	0	1	3	1	0	2	1	1	1	2	0	0	2	1	4.2.1	
35	1	0	0	0	2	2	0	0	2	2	2	1	1	1	0	2	3	2	2	3	2	1	3	1	0	0	1	0	0	2	1	4.2.2	
24	0	2	0	0	2	0	1	-2	1	1	1	1	0	0	0	1	0	2	2	1	1	1	0	3	1	2	0	1	0	0	3	4.3.1	
33	2	2	0	0	2	1	2	-2	2	2	1	0	1	0	-1	0	1	3	2	2	3	1	0	3	1	2	1	1	0	2	3	4.3.2	
21	2	0	0	0	1	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	1	3	2	1	3	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	1	4.3.3	
27	1	2	1	0	1	2	1	0	1	1	3	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	2	0	1	1	1	1	0	0	2	4.4.1
21	0	1	0	3	1	1	1	-2	0	2	0	0	3	0	-1	0	0	3	0	0	2	1	0	0	-1	1	0	2	2	1	1	4.4.2	
47	0	3	0	3	1	3	3	3	3	3	1	3	3	0	0	2	2	1	3	3	0	2	0	2	0	0	1	2	2	0	0	4.5.1	
17	3	3	0	0	1	1	0	-2	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	2	0	-1	0	0	0	1	1	1	0	0	4.5.2	
32	0	1	0	1	2	1	2	0	2	1	1	0	0	1	2	2	1	0	2	2	0	1	1	1	1	0	3	2	1	2	0	5.1.1	
36	3	2	0	0	3	1	0	2	1	1	0	3	0	0	0	1	2	1	0	1	0	1	0	2	1	3	2	2	2	1	5.2.1		
44	1	2	0	0	3	3	1	2	2	2	2	3	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	2	2	1	2	3	3	3	1	5.2.2		
24	2	1	0	0	3	2	1	1	1	1	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	2	3	0	0	5.3.1		
31	0	2	0	0	2	2	2	2	3	2	2	0	0	0	0	2	2	0	2	2	0	0	1	0	0	2	2	3	0	0	5.3.2		
34	1	2	0	1	1	1	3	1	2	2	1	1	1	3	1	1	1	1	3	3	1	2	1	1	0	0	1	1	1	0	0	5.4.1	

CODICE	AZIONE
1.1.1	Collegamento diretto al Villaggio Olimpico con nuovi GPE e linee tramviarie
1.1.2	Creazione di un'Arena polisportiva
1.2.1	Stanziamiento di fondi per migliorare l'isolamento acustico degli impianti sportivi esistenti
1.2.2	Sviluppo di percorsi morbidi che favorisca i percorsi sportivi
2.1.1	Dare all'arena una vocazione metropolitana (sale congressi e competizioni internazionali) e di quartiere (palestra cittadina)
2.1.2	Creazione di nuove strutture specializzate nell'accoglienza dei giovani e alloggi per studenti in connessione con il nuovo polo universitario Chapelle Condorcet
2.2.1	Parziale copertura della Porte d'Aubervilliers con un blocco misto
2.2.2	La rampa della circonvallazione che conduce alla Porte d'Aubervilliers sarà spostata per fare spazio alla continuazione della foresta lineare
2.2.3	Riqualficazione della Station Gare des Mines
3.1.1	Trasformazioni o riabilitazioni parziali delle residenze in alloggi per studenti
3.1.2	Costruzione di nuovi edifici residenziali, tra cui alloggi sociali (35%) e alloggi in vendita (43%), oltre che di alloggi intermedi (22%)
3.2.1	Rue Charles Hermite sarà ridisegnata per garantire un miglior collegamento con il Boulevard Ney
3.2.2	Le strade interne del quartiere Charles Hermite (vie Gaston Darboux, Charles Lauth e Gaston Tissandier) saranno ridisegnate come percorsi paesaggistici
3.2.3	Istituzione di zone a traffico limitato (zone 30) in corrispondenza di Cité Charles Hermite
3.2.4	Razionalizzazione dei posti auto per ampliare i marciapiedi e di creare spazi piantumati, in modo da riqualificare gli alloggi del quartiere situati al piano terra
4.1.1	Sviluppo di attrezzature per la "prima infanzia" e miglioramento della scuola materna esistente
4.2.1	Nuovi edifici residenziali per gli artisti
4.2.2	Sviluppo delle attività culturali e di svago già presenti
4.3.1	Sviluppo a nord della circonvallazione di un programma orientato a programmi economici organizzati intorno a cortili produttivi per interfacciarsi con le realtà esistenti
4.3.2	Allestimento di spazi di coworking e hub di innovazione
4.3.3	Connessione con la Manifattura Chanel che parteciperà allo sviluppo della Porte d'Aubervilliers e sarà interessata dalla riprogettazione dello spazio pubblico dovuta all'arrivo del tram T8
4.4.1	Sviluppo di una programmazione alberghiera con ostelli della gioventù
4.4.2	Sviluppo di attività commerciali, sociali e sportive all'aperto
4.5.1	Installazione di un edificio e di uno schermo ai margini della circonvallazione per attenuare la dispersione degli inquinanti verso gli impianti sportivi
4.5.2	Creazione di una corsia dedicata per taxi, autobus, car-pooling e accessi di emergenza con la riconversione di circa dieci ettari dell'attuale tangenziale parigina a terreno
5.1.1	Sviluppo di un collegamento urbano intermedio in quota che permetta la connessione degli spazi separati dalla tangenziale e favorisca la fuga visiva
5.2.1	Creazione di una strada est-ovest (prolungando il vicolo cieco di Marteau) per collegare la Porte de la Chapelle a Porte d'Aubervilliers
5.2.2	Creazione di un grande percorso pedonale lungo il centro commerciale che colleghi il piazzale dell'Arena e la nuova Place Charles Hermite
5.3.1	Riprogettazione dello spazio pubblico dell'Avenue de la Porte de la Chapelle (CDG Express e la sede universitaria del Campus Condorcet)
5.3.2	Connessione con il centro commerciale ludico che potrà ospitare attività sportive all'aperto fino alla Porte d'Aubervilliers, fornendo un collegamento tra la scala metropolitana e di quartiere
5.4.1	Il Boulevard Ney sarà riqualificato e de-attrezzato tra rue de la Chapelle e rue Charles Hermite

1.11.1. WORKFLOW

Lo spostamento della rampa allontana l'uscita relativa alla tangenziale dal parcheggio Boulevard Ney, elemento che poteva risultare comodo per chi deve prendere i mezzi di trasporto in direzione Villaggio Olimpico.

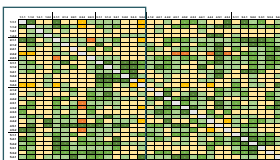
Complicazione della gestione del flusso di persone che si recano all'arena.

Il recupero della Station Gare des Mines invece della conversione in un polo creativo avrebbe potuto aiutare a connettere l'arena con la città.

	1.1.1	1.1.2	1.2.1	1.2.2	2.1.1	2.1.2	2.2.1	2.2.2	2.2.3	3.1.1	3.1.2	3.2.1	3.2.2	3.2.3	3.2.4
1.1.1		3	0	0	3	0	0	-1	1	1	1	1	0	0	-1
1.1.2	3		1	1	3	2	1	-1	0	2	1	2	0	0	-1
1.2.1	0	1		1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
1.2.2	0	1	1		1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
2.1.1	3	3	0	1		1	1	1	-2	1	1	2	0	0	-1
2.1.2	0	2	1	0	1		0	1	0	3	0	1	0	0	1
2.2.1	0	1	0	0	1	0		0	2	0	2	0	0	0	0
2.2.2	-1	-1	0	0	1	1	0		0	0	0	0	0	0	0
2.2.3	1	0	0	0	-2	0	2	0		1	1	1	0	0	0
3.1.1	1	2	0	0	1	3	0	0	1		3	1	3	3	2
3.1.2	1	1	1	0	1	0	2	0	1	3		1	3	3	2
3.2.1	1	2	0	0	2	1	0	0	1	1	1		2	3	0
3.2.2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	3	2		3	1
3.2.3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	3	3	3		-1
3.2.4	-1	-1	0	1	-1	1	0	0	0	2	2	0	1	-1	
4.1.2	0	0	0	0	0	1	2	0	1	1	1	0	0	1	0
4.2.1	0	1	1	0	0	0	1	0	2	1	3	1	0	0	1
4.2.2	1	0	0	0	2	2	0	0	2	2	2	1	1	1	0
4.3.1	1	2	0	0	2	0	1	-2	1	1	1	1	0	0	0
4.3.2	2	2	0	0	2	1	2	-2	2	1	0	1	0	0	-1
4.3.3	2	0	0	0	1	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0
4.4.1	1	2	1	0	1	2	1	0	1	1	3	1	0	1	0
4.4.2	0	1	0	3	1	1	1	-2	0	2	0	1	1	1	-1
4.5.1	1	3	0	3	1	3	3	3	3	3	1	3	3	0	0
4.5.2	3	3	0	0	1	1	0	-2	1	1	1	1	0	0	0
5.1.1	1	1	0	1	2	1	2	0	2	1	1	0	0	1	2
5.2.1	3	2	0	0	3	1	0	2	1	1	0	3	0	0	0
5.2.2	1	2	0	0	3	3	1	2	2	2	2	3	1	1	1
5.3.1	2	1	0	0	3	2	1	1	1	1	1	2	0	0	1
5.3.2	1	2	0	0	2	2	2	2	3	2	2	0	0	0	0
5.4.1	1	2	0	1	1	1	3	1	2	2	1	0	1	0	3

In generale l'eliminazione di parcheggi gratuiti incide sulla quantità di persone dirette verso il distretto sportivo, in quanto gli utenti sono costretti a parcheggiare presso l'arena e o Boulevard ney , dove sono presenti parcheggi esclusivamente a pagamento.

Lo spostamento della rampa della tangenziale potrebbe creare problemi o allungare tempi di accesso all'area



LEGENDA

Valore	Scala di valutazione
-3	Impatto negativo rilevante
-2	Impatto negativo
-1	Impatto negativo mitigabile
0	Nessun impatto
1	Impatto positivo di rilevanza locale
2	Impatto positivo di rilevanza regionale
3	Impatto positivo di rilevanza nazionale

In questa sezione si esprimono alcune motivazioni che hanno spinto a dare dei giudizi di impatto negativi a varie combinazioni presenti, in modo da capire i ragionamenti eseguiti.

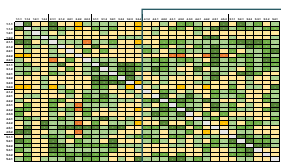
L'eliminazione di parcheggi gratuiti obbliga gli utenti a parcheggiare a Boulevard ney, dove sono presenti parcheggi esclusivamente a pagamento e situato a maggiore distanza dalla zona di riferimento.

	4.1.2	4.2.1	4.2.2	4.3.1	4.3.2	4.3.3	4.4.1	4.4.2	4.5.1	4.5.2	5.1.1	5.2.1	5.2.2	5.3.1	5.3.2	5.4.1
1.1.1	0	0	1	0	2	2	1	0	0	3	0	3	1	2	0	1
1.1.2	0	1	0	2	2	0	2	1	3	3	1	2	2	1	2	2
1.2.1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.2.2	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	1	0	0	0	0	1
2.1.1	0	0	2	2	2	1	1	1	1	1	2	3	3	3	2	1
2.1.2	1	0	2	0	1	0	2	1	3	1	1	1	3	2	2	1
2.2.1	2	1	0	1	2	1	1	1	3	0	2	0	1	1	2	3
2.2.2	0	0	0	-2	-2	0	0	-2	3	-2	0	2	2	1	2	1
2.2.3	1	2	2	1	2	2	1	0	3	1	2	1	2	1	3	2
3.1.1	1	1	2	1	1	0	1	2	3	1	1	1	2	1	2	2
3.1.2	1	3	2	1	0	0	3	0	1	1	1	0	2	1	2	1
3.2.1	0	1	1	1	1	0	1	1	3	1	0	3	3	2	0	0
3.2.2	0	0	1	0	0	0	0	1	3	0	0	0	1	0	0	1
3.2.3	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0
3.2.4	0	1	0	0	-1	0	0	-1	0	0	2	0	1	1	0	3
4.1.2		0	2	1	0	1	0	0	2	1	2	1	0	0	0	1
4.2.1	0		3	0	1	3	1	0	2	1	1	2	0	0	2	1
4.2.2	2	3		2	3	2	1	3	1	0	0	1	0	0	2	1
4.3.1	1	0	2		2	1	1	0	3	1	2	0	1	0	0	3
4.3.2	0	1	3	2		3	1	0	3	1	2	1	1	0	2	3
4.3.3	1	3	2	1	3		0	2	0	2	0	0	0	0	0	1
4.4.1	0	1	1	1	1	0		1	2	0	1	1	1	0	0	2
4.4.2	0	0	3	0	0	2	1		0	-1	1	0	2	2	1	1
4.5.1	2	2	1	3	3	0	2	0		0	1	2	2	0	0	0
4.5.2	1	1	0	1	1	2	0	-1	0		0	1	1	0	0	0
5.1.1	2	1	0	2	2	0	1	1	1	0		3	2	1	2	0
5.2.1	1	2	1	0	1	0	1	0	2	1	3		3	2	2	1
5.2.2	0	0	0	1	1	0	1	2	2	1	2	3		3	3	1
5.3.1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	2	3		0	0
5.3.2	0	2	2	0	2	0	0	1	0	0	2	2	3	0		0
5.4.1	1	1	1	3	3	1	2	1	0	0	0	1	1	0	0	

Lo spostamento della rampa della tangenziale unito ai lavori per la creazione di corsie separate andrebbe a ostacolare la viabilità dell'area di progetto.

LEGENDA

- Valore** **Scala di valutazione**
- 3** Impatto negativo rilevante
- 2** Impatto negativo
- 1** Impatto negativo mitigabile
- 0** Nessun impatto
- 1** Impatto positivo di rilevanza locale
- 2** Impatto positivo di rilevanza regionale
- 3** Impatto positivo di rilevanza nazionale



1.12. MATRICE D'IMPATTO: SCENARIO 2

	1.1.1	1.1.2	1.2.1	1.2.2	1.2.3	1.3.1	1.3.2	1.3.3	1.3.4	2.1.1	2.1.2	2.1.3	2.1.4	2.2.1	2.2.2	2.2.3	3.1.1	3.1.2	3.1.3	3.2.1	3.2.2	3.2.3
1.1.1		1	1	0	1	2	2	3	1	2	0	1	2	1	1	0	0	0	2	0	1	0
1.1.2	1		2	1	1	2	2	3	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
1.2.1	1	2		1	2	0	1	1	1	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
1.2.2	0	1	1		0	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.2.3	1	1	2	0		1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1.3.1	2	2	0	0	1		2	0	0	0	0	3	0	0	0	1	0	1	3	1	1	0
1.3.2	2	2	1	1	1	2		3	0	1	1	3	1	0	0	0	1	2	2	0	2	0
1.3.3	3	3	1	0	0	0	3		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.3.4	1	1	1	0	1	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.1.1	2	1	2	2	0	0	1	1	0		1	1	2	0	1	1	1	1	0	0	0	0
2.1.2	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1		1	1	0	1	3	3	2	0	0	0	0
2.1.3	1	1	1	0	0	3	3	0	0	1	1		2	0	2	3	1	1	3	1	1	0
2.1.4	2	0	1	0	1	0	1	0	0	2	1	2		0	1	3	1	1	1	0	0	0
2.2.1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	1	0	0	0	0
2.2.2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	0		2	0	1	0	0	0	0
2.2.3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	3	3	3	0	2		0	1	1	1	1	0
3.1.1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	3	1	1	0	0	0		1	0	1	1	0
3.1.2	0	0	0	0	0	1	2	0	0	1	2	1	1	1	1	1	1		1	1	1	0
3.1.3	2	0	0	0	0	3	2	0	0	0	0	3	1	0	0	1	0	1		1	1	0
3.2.1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1		3	1
3.2.2	1	1	1	0	0	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	3		1
3.2.3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
4.1.1	2	1	2	0	0	0	1	1	0	3	2	0	1	0	2	0	1	3	2	2	2	1
4.1.2	3	0	1	0	1	0	0	0	0	2	2	2	2	2	1	0	0	0	1	0	0	0
4.1.3	2	1	1	0	1	0	1	1	0	3	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0
4.1.4	2	0	0	0	0	0	2	2	0	0	2	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0
4.2.1	1	1	1	0	1	2	2	2	0	0	1	1	1	0	0	0	1	2	2	1	1	0
4.2.2	1	0	0	0	1	1	2	0	0	1	1	0	1	0	0	0	2	2	0	2	2	0
4.3.1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-2	0	0	0	0	3	1	0
4.3.2	-1	-1	1	1	1	-1	-1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0
4.3.3	2	2	1	0	1	3	3	0	0	1	1	1	2	0	1	0	0	1	1	1	1	1
4.3.4	3	1	0	0	0	2	2	1	0	2	2	2	2	0	0	0	0	1	1	0	0	0
4.4.1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.4.2	1	2	3	-1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1
4.4.3	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5.1	0	1	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5.2	0	1	2	-1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.1.1	3	3	2	2	0	3	3	0	0	0	2	2	2	0	0	1	0	2	2	2	2	2
5.1.2	1	2	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	2	0	0	0	0	1	1	1
5.1.3	0	0	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	1	1	1
5.2.1	1	2	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1
5.2.2	0	1	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	1	1	1
5.2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2

	4.1.2	4.1.3	4.1.4	4.2.1	4.2.2	4.3.1	4.3.2	4.3.3	4.3.4	4.4.1	4.4.2	4.4.3	4.5.1	4.5.2	5.1.1	5.1.2	5.1.3	5.2.1	5.2.2	5.2.3	
1.1.1	3	2	2	1	1	0	-1	2	3	0	1	0	0	0	3	1	0	1	0	0	42
1.1.2	0	1	0	1	0	0	-1	2	1	0	2	0	1	1	3	2	0	2	1	0	34
1.2.1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	3	1	2	2	2	1	2	3	3	0	45
1.2.2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	-1	2	1	0	1	0	0	9
1.2.3	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	18
1.3.1	0	0	0	2	1	0	-1	3	2	1	1	1	0	0	3	1	1	0	1	0	33
1.3.2	0	1	2	2	2	0	-1	3	2	1	1	1	0	0	3	1	0	0	0	0	44
1.3.3	0	1	2	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
1.3.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
2.1.1	2	3	0	0	1	0	1	1	2	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	36
2.1.2	2	0	2	1	1	0	1	1	2	1	1	0	0	0	2	1	0	0	0	0	31
2.1.3	2	0	1	1	0	0	1	1	2	1	1	0	0	0	2	1	0	0	0	0	38
2.1.4	2	2	1	1	1	1	0	2	2	1	1	0	0	0	2	1	2	0	2	0	39
2.2.1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
2.2.2	1	0	0	0	0	-2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	2	2	1	2	0	19
2.2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	18
3.1.1	0	1	1	1	2	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
3.1.2	0	0	1	2	2	0	1	1	-1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	26
3.1.3	1	0	1	2	0	0	1	1	-1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	24
3.2.1	0	0	0	1	2	3	0	1	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	1	2	29
3.2.2	0	0	1	1	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	1	1	30
3.2.3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	2	1	1	1	1	2	14
4.1.1	2	1	0	2	0	2	1	2	1	1	1	1	2	2	2	1	0	0	0	0	47
4.1.2		2	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	2	1	1	1	1	0	34
4.1.3	2		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17
4.1.4	1	0		2	1	1	2	1	0	1	2	1	0	0	2	1	0	0	0	0	29
4.2.1	0	1	2		2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	30
4.2.2	0	0	1	2		0	0	1	0	1	2	1	0	0	2	0	0	0	0	0	26
4.3.1	1	0	1	0	0		0	-1	0	1	2	1	1	1	2	1	1	0	1	0	19
4.3.2	1	0	2	0	0	0		0	0	1	2	1	1	1	3	0	0	0	0	0	12
4.3.3	1	0	1	0	1	-1	0		0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	26
4.3.4	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
4.4.1	1	0	1	0	0	1	1	0	0		3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	16
4.4.2	1	0	2	0	0	2	2	0	0	3		2	0	0	1	1	2	0	0	0	30
4.4.3	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	2		0	0	0	0	0	0	0	0	12
4.5.1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	9
4.5.2	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	8
5.1.1	2	0	2	1	2	2	3	-1	0	0	1	0	0	0		0	3	1	2	1	54
5.1.2	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0		3	1	3	1	30
5.1.3	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	3	3		2	2	0	25
5.2.1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2		1	0	18
5.2.2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	2	1		2	24
5.2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2		9

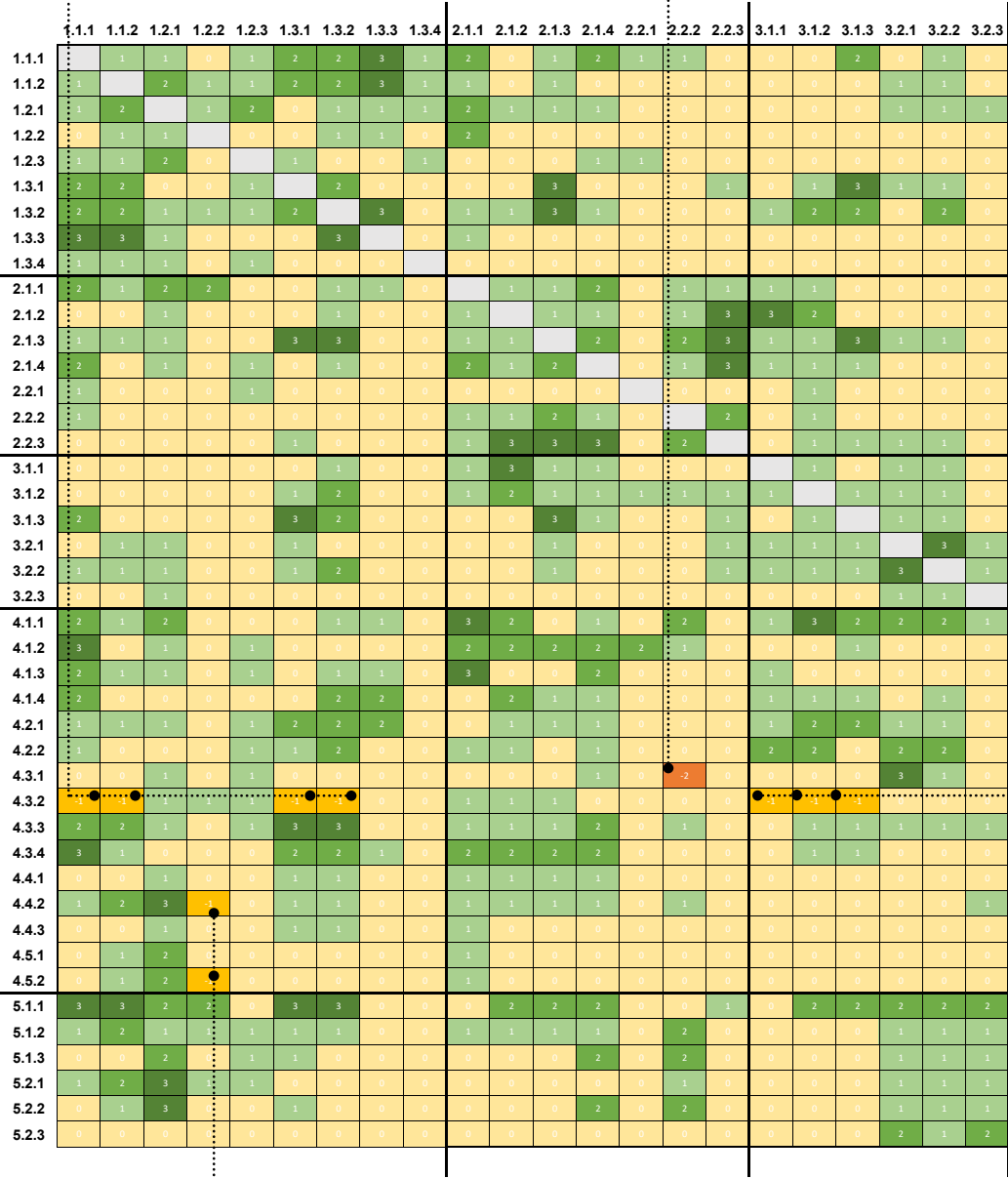
CODICE AZIONE	AZIONE
1.1.1	Realizzazione di un'arena polifunzionale
1.1.2	Espansione dell'offerta degli impianti sportivi (calcio, trampolini elastici, beach volley, basket, percorso avventura, padel)
1.2.1	Installazione di postazioni sportive lungo gli spazi pubblici a disposizione di tutti
1.2.2	Sviluppo di circuiti dedicati alla corsa con indicatori di distanza
1.2.3	Inserimento di stand a disposizione di associazioni e club sportivi
1.3.1	Realizzazione di nuovi uffici per la logistica degli impianti sportivi
1.3.2	Progettazione di nuovi spazi dedicati ad hub di innovazione per lo sport
1.3.3	Costruzione di un centro medico per la ricerca e la riabilitazione sportiva
1.3.4	Realizzazione di un nuovo Mall sportif
2.1.1	Costruzione di nuove residenze per studenti in prossimità del nuovo polo universitario Campus Condorcet
2.1.2	Realizzazione di alloggi per artisti all'interno dell'ampliamento della Station Gare des Mines
2.1.3	Recupero dell'edificio residenziale Valentin Abeille come alloggi per i lavoratori
2.1.4	Sviluppo di una programmazione alberghiera in prossimità della nuova Arena che contenga un ostello per la gioventù
2.2.1	Coinvolgimento della popolazione tramite consultazioni aperte al pubblico
2.2.2	Recupero della Cité Charles Hermite
2.2.3	Promozione di politiche contro la povertà abitativa
3.1.1	Sviluppo di industrie creative vicine al polo artistico della Station Gare des Mines
3.1.2	Ampliamento della Station Gare des Mines con nuovi spazi per eventi e mostre
3.1.3	Inserimento di uffici finanziari nel cuore della dinamica Paris Nord-Est Élargi
3.2.1	Realizzazione di nuovi laboratori creativi in connessione con l'Ecole Maternelle Charles Hermite e il Lycée Camille Jenatzy
3.2.2	Riqualificazione dell'Espace Paris Jeune (EPJ) - La Villa con nuovi spazi dedicati all'educazione sportiva infantile ed attività formative per giovani
3.2.3	Realizzazione di un nuovo parco giochi in prossimità degli edifici scolastici
4.1.1	Implementazione di percorsi pedonali permeabili che permettano il collegamento urbano da Porte de la Chapelle a Porte d'Aubervilliers
4.1.2	Inserimento di nuove piazze come luoghi di ritrovo per la cittadinanza
4.1.3	Realizzazione di collegamenti pedonali che mettano in comunicazione le nuove residenze per studenti con il nuovo polo universitario Campus Condorcet
4.1.4	Sviluppo di collegamenti pedonali tra la residenza Valentin Abeille e la Station Gare de Mines intervallati da cortili produttivi
4.2.1	Sviluppo di collegamenti urbani in quota che permettano la connessione degli spazi separati dalla tangenziale
4.2.2	Parziale copertura della Porte d'Aubervilliers con il blocco dei laboratori creativi

CODICE AZIONE	AZIONE
4.3.1	Istituzione di zone a traffico limitato in corrispondenza della Cité Charles Hermite e Rue Charles Hermite con dissuasori della velocità
4.3.2	Limitazione del passaggio di veicoli autorizzati a partire dal vicolo Marteau fino alla Station Gare des Mines
4.3.3	Implementazione degli attraversamenti pedonali nel Boulevard Ney per poter sfruttare i parcheggi del vicino polo di interscambio Entrepôts Ney
4.3.4	Riorganizzazione delle attuali linee di servizio pubblico per il collegamento con il Villaggio Olimpico
4.4.1	Inserimento di nuove stazioni Vélib' per il noleggio di biciclette
4.4.2	Realizzazione di piste ciclabili connesse alla rete esistente
4.4.3	Installazione di stazioni Dott per il noleggio di monopattini elettrici
4.5.1	Realizzazione di un nuovo skatepark diffuso
4.5.2	Implementazione di nuovi percorsi dedicati ai roller
5.1.1	5.1.1 Realizzazione di viali alberati estesi lungo la tangenziale per contrastare l'inquinamento acustico
5.1.2	5.1.2 Piantumazione di aree verdi ed alberature lungo i nuovi percorsi
5.1.3	5.1.3 Integrazione di nuove aree verdi e viali alberati riqualificando la viabilità della Cité Charles Hermite
5.2.1	5.2.1 Riorganizzazione del parco Square Charles Hermite con spazi dedicati all'attività sportiva
5.2.2	5.2.2 Riqualificazione delle aree verdi protette della Cité Charles Hermite
5.2.3	5.2.3 Realizzazione di orti didattici terrazzati

1.12.1. WORKFLOW

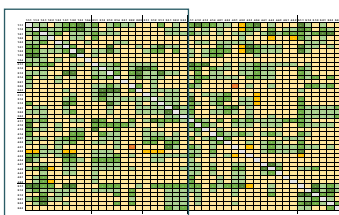
La limitazione del passaggio dei veicoli autorizzati può creare difficoltà nel raggiungimento del luogo di lavoro per chi non risiede negli alloggi all'interno dell'area (pendolari).

L'istituzione di zone a traffico limitato all'interno della Cité Charles Hermite risulterebbe difficoltoso per la riorganizzazione del traffico e vi sarebbe rischio di congestioni per l'alta densità di popolazione che vi abita.



La creazione di spazi dedicati alla corsa potrebbe entrare in conflitto con la realizzazione di spazi dedicati a roller e piste ciclabili, per le difficoltà di transito dei pedoni.

La riduzione di viabilità può creare difficoltà nel raggiungimento del polo creativo e dei nuovi uffici.



- LEGENDA**
- | | |
|---------------|---|
| Valore | Scala di valutazione |
| -3 | Impatto negativo rilevante |
| -2 | Impatto negativo |
| -1 | Impatto negativo mitigabile |
| 0 | Nessun impatto |
| 1 | Impatto positivo di rilevanza locale |
| 2 | Impatto positivo di rilevanza regionale |
| 3 | Impatto positivo di rilevanza nazionale |

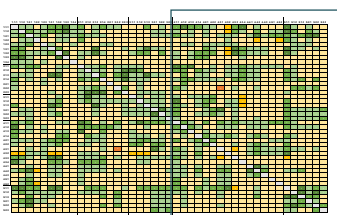
In questa sezione si esprimono alcune motivazioni che hanno spinto a dare dei giudizi di impatto negativi a varie combinazioni presenti, in modo da capire i ragionamenti eseguiti.

La realizzazione di una nuova arena e l'ampliamento dell'offerta di impianti sportivi porterebbe ad una complicazione nella gestione del flusso di persone in entrata e in uscita.

	4.1.2	4.1.3	4.1.4	4.2.1	4.2.2	4.3.1	4.3.2	4.3.3	4.3.4	4.4.1	4.4.2	4.4.3	4.5.1	4.5.2	5.1.1	5.1.2	5.1.3	5.2.1	5.2.2	5.2.3
1.1.1	3	2	2	1	1	0	-1	2	3	0	1	0	0	0	3	1	0	1	0	0
1.1.2	0	1	0	1	0	0	-1	2	1	0	2	0	1	1	3	2	0	2	1	0
1.2.1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	3	1	2	2	2	1	2	3	3	0
1.2.2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	-1	2	1	0	1	0	0
1.2.3	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
1.3.1	0	0	0	2	1	0	-1	3	2	1	1	1	0	0	3	1	1	0	1	0
1.3.2	0	1	2	2	2	0	-1	3	2	1	1	1	0	0	3	1	0	0	0	0
1.3.3	1	1	2	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.3.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.1.1	2	3	0	0	1	0	1	1	2	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0
2.1.2	2	0	2	1	1	0	1	1	2	1	1	0	0	0	2	1	0	0	0	0
2.1.3	2	0	1	1	0	0	1	1	2	1	1	0	0	0	2	1	0	0	0	0
2.1.4	2	2	1	1	1	1	0	2	2	1	1	0	0	0	2	1	2	0	2	0
2.2.1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.2.2	1	0	0	0	0	-2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	2	2	1	2	0
2.2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
3.1.1	0	1	1	1	2	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.1.2	0	0	1	2	2	0	1	1	-1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
3.1.3	1	0	1	2	0	0	1	1	-1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
3.2.1	0	0	0	1	2	3	0	1	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	1	2
3.2.2	0	0	1	1	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	1	1
3.2.3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	1	2
4.1.1	2	1	0	2	0	2	1	2	1	1	1	1	2	2	2	1	0	0	0	0
4.1.2	0	2	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	2	1	1	1	1	0
4.1.3	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.1.4	1	0	0	2	1	1	2	1	0	1	2	1	0	0	2	1	0	0	0	0
4.2.1	0	1	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
4.2.2	0	0	1	2	0	0	0	1	0	1	2	1	0	0	2	0	0	0	0	0
4.3.1	1	0	1	0	0	0	0	-1	0	1	2	1	1	1	2	1	1	0	1	0
4.3.2	1	0	2	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	3	0	0	0	0	0
4.3.3	1	0	1	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0
4.3.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.4.1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.4.2	1	0	2	0	0	2	2	0	0	3	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0
4.4.3	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5.1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5.2	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.1.1	2	0	2	1	2	2	3	-1	0	0	1	0	0	0	0	3	1	2	1	0
5.1.2	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	1	3	1
5.1.3	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	3	3	0	2	2	0
5.2.1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	1	0
5.2.2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	2	1	0	2
5.2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	0

L'istituzione di zone a traffico limitato porterebbe ad un uso intensivo del parcheggio Entrepôts Ney e risulta in contrasto con l'idea di limitare le emissioni.

Apertura e la facilità di raggiungimento del parcheggio Entrepôts Ney creerebbe ancora più inquinamento acustico, che risulta in contrasto con la realizzazione di viali alberati estesi.



- LEGENDA**
- | | |
|---------------|---|
| Valore | Scala di valutazione |
| -3 | Impatto negativo rilevante |
| -2 | Impatto negativo |
| -1 | Impatto negativo mitigabile |
| 0 | Nessun impatto |
| 1 | Impatto positivo di rilevanza locale |
| 2 | Impatto positivo di rilevanza regionale |
| 3 | Impatto positivo di rilevanza nazionale |

1.13. CONFRONTO TRA IMPATTO DEGLI SCENARI

L'analisi dell'impatto del progetto viene valutata confrontando gli scenari futuri con e senza il progetto: il confronto avviene tramite l'utilizzo di una matrice di impatto che permette l'identificazione dei driver progettuali.

Vengono messe in evidenza le azioni proposte all'interno dell'OSA, rispetto una scala di valutazione dell'impatto, che va da -3 a +3 a seconda degli effetti di ricaduta a livello geografico e alla loro mitigabilità, da scala nazionale a scala locale.

La catena degli impatti si riflette a partire dalle azioni, per poi trasferirsi ad ambiente e società: la somma delle diverse azioni all'interno della matrice coassiale permette di associare un valore numerico a parametri qualitativi, arrivando a formulare l'impatto globale. Da qui è possibile definire le azioni di mitigazione e compensazione ambientale per arginare gli effetti e ricadute delle azioni.

Valore	Scala di valutazione	Totale	Complessivo
-3	Impatto negativo rilevante	0	
-2	Impatto negativo	-20	
-1	Impatto negativo mitigabile	-18	
0	Nessun impatto	0	854
1	Impatto positivo di rilevanza locale	296	
2	Impatto positivo di rilevanza regionale	308	
3	Impatto positivo di rilevanza nazionale	288	

Figura Il.1.7. Valori dell'impatto con lo scenario 1

Valore	Scala di valutazione	Totale	Complessivo
-3	Impatto negativo rilevante	0	
-2	Impatto negativo	-4	
-1	Impatto negativo mitigabile	-18	
0	Nessun impatto	0	1066
1	Impatto positivo di rilevanza locale	716	
2	Impatto positivo di rilevanza regionale	192	
3	Impatto positivo di rilevanza nazionale	180	

Figura Il.1.8. Valori dell'impatto con lo scenario 2

1.13.1. MISURE DI MITIGAZIONE E COMPENSAZIONE

Schermi fisici quali terrapieni, protezioni antirumore (schermi, merli, ecc..) consentono di limitare la dispersione degli inquinanti, di confinarli al livello del binario e/o deviarli. Anche la vegetazione (schermo vegetale, piantumazione fitta di conifere lungo i binari, ecc...) può contribuire a limitare e "intrappolare" l'inquinamento particolato e gassoso.

Per quanto riguarda le costruzioni vengono ricercati materiali con bassa albedo ed elevata inerzia termica per la futura costruzione. La scelta dei materiali per lo sviluppo degli spazi pubblici costituisce un'importante questione microclimatica in termini di temperatura, luminosità, umidità (riflettendo gli spazi minerali in opposizione agli spazi verdi termoregolatori per evapotraspirazione). L'obiettivo è quello di limitare i fenomeni di isola di calore legati alla copertura degli spazi pubblici e di creare microspazi freschi nel quartiere mediante l'installazione di opportuni accorgimenti (valli, bacini, facciate verdi, ecc.).

1.13.2. IPOTESI MIGLIORATIVE COMUNI AGLI SCENARI

Il progetto non provoca un aumento del traffico stradale che comporti un aumento significativo dei livelli di rumore sulle strade esistenti.

Tuttavia, si registra un aumento di oltre 2 dB(A) su 35 m di rue Charles Lauth a causa dei cambiamenti di accesso tramite Boulevard Ney. Gli edifici di questo settore sono maggiormente esposti al rumore di Boulevard Ney, trascurabile il contributo di Rue Charles Lauth.

Al fine di garantire continuità di protezione del sito nei confronti del rumore emesso dalla tangenziale, si propone di installare uno schermo di 5 m di altezza tra l'arena e le tribune del campo sportivo.

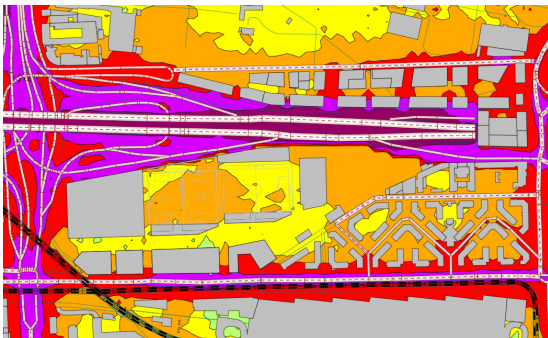


Figura Il.1.9. Mappa del rumore ore 06-22
Fonte immagine: Etude d'impact acoustique et vibratoire de la ZAC Garedes Mines Fillettes

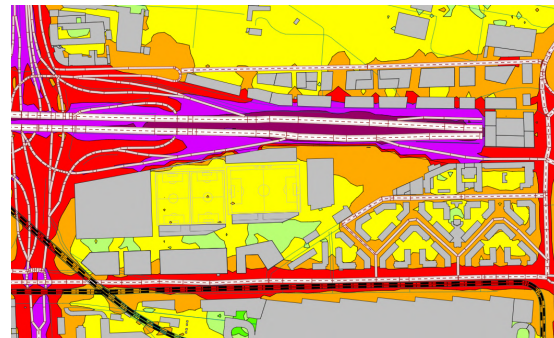


Figura Il.1.10. Mappa del rumore ore 22-06
Fonte immagine: Etude d'impact acoustique et vibratoire de la ZAC Garedes Mines Fillettes



1.13.3. DIFFERENZE FRA LE MISURE DI MITIGAZIONE

Le misure di mitigazione e compensazione ambientale dei due scenari progettuali differiscono per quanto riguarda l'investimento delle risorse dal punto di vista dell'educazione e intrattenimento sociale e culturale: il coinvolgimento e sviluppo di una nuova comunità risulta centrale nella variante di progetto, poiché viene considerata, oltre alla dimensione sportiva e del mega evento, anche una visione post-evento, che possa garantire il reinserimento di questo quartiere periferico all'interno del network parigino.

Altra differenza risulta l'introduzione di spazi medici e wellness per il supporto degli sportivi che usufruiscono dei nuovi spazi per l'attività fisica.

Inoltre, la Cité Charles Hermite ha un solo medico di base attivo per più di 2.000 abitanti e quindi si teme che non sia in grado di soddisfare la crescente domanda da parte della popolazione. Una maggiore disponibilità di accesso alle cure nel quartiere permetterebbe di garantire il soddisfacimento dei bisogni di prestazioni sanitarie.

1.13.4. RISULTATI

Come si evince dai risultati della matrice di impatto, il numero rappresentante il totale complessivo degli impatti, tradotti da elementi qualitativi a quantitativi, è maggiore nel caso dello scenario 2. Questo perché il valore numerico risulta più alto (1066>854) e quindi preferibile per gli effetti che può generare a livello di progetto e di area di contesto in cui è inserito.

1.14. CONCLUSIONI

A seguito della valutazione degli impatti positivi e negativi derivanti dai singoli scenari, viene realizzata una comparazione per poter scegliere lo scenario ottimale. Confrontare possibili scenari significa anche pensare agli effetti generati nel tempo sulle dimensioni sociali, tecnologiche, economiche, ambientali e politiche del sistema urbano oggetto di indagine.

La costruzione dell'arena presso Porte de la Chapelle è percepita come un segnale positivo di cambiamento dalla maggior parte degli abitanti interpellati perché migliorerà l'immagine e l'attrattiva di questo settore sportivo. Sono previsti benefici in termini di occupazione locale e visite alle imprese circostanti durante e dopo i Giochi Olimpici e Paralimpici.

Gli svantaggi del progetto derivano dalle conseguenze del grande afflusso di persone che potrebbe causare disagi per la scarsità di parcheggi gratuiti con l'arrivo di nuove abitazioni nelle vicinanze.

Risulta prioritaria la riqualificazione delle zone Charles Hermite e Valentin Abeille, soprattutto la rimozione degli ostacoli fisici, primi fra tutti la tangenziale che costituisce un limite invalicabile e obbliga a deviazioni importanti. Il potenziale attraversamento in quota della circonvallazione, citato nelle diverse versioni del progetto (o tramite edifici-ponti o tramite una passerella) persiste in entrambe gli scenari; permetterebbe di ricollegare le parti nord e sud e gioverebbe sia agli abitanti dell'edificio residenziale Valentin Abeille, per recarsi alle scuole e alle strutture del quartiere, sia a quelli di Charles Hermite per accesso facilitato al cimitero della Chapelle situato nel territorio di Saint-Denis.

La scelta finale è ricaduta sullo Scenario strategico 2 poiché ha un maggiore impatto positivo rispetto allo Scenario 1 al netto di una maggiore accettazione da parte della comunità; per questo motivo nelle analisi successive si tiene conto unicamente dello Scenario 2, ovvero quello ottimale.



Figura II.1.11. Confronto fra scenari

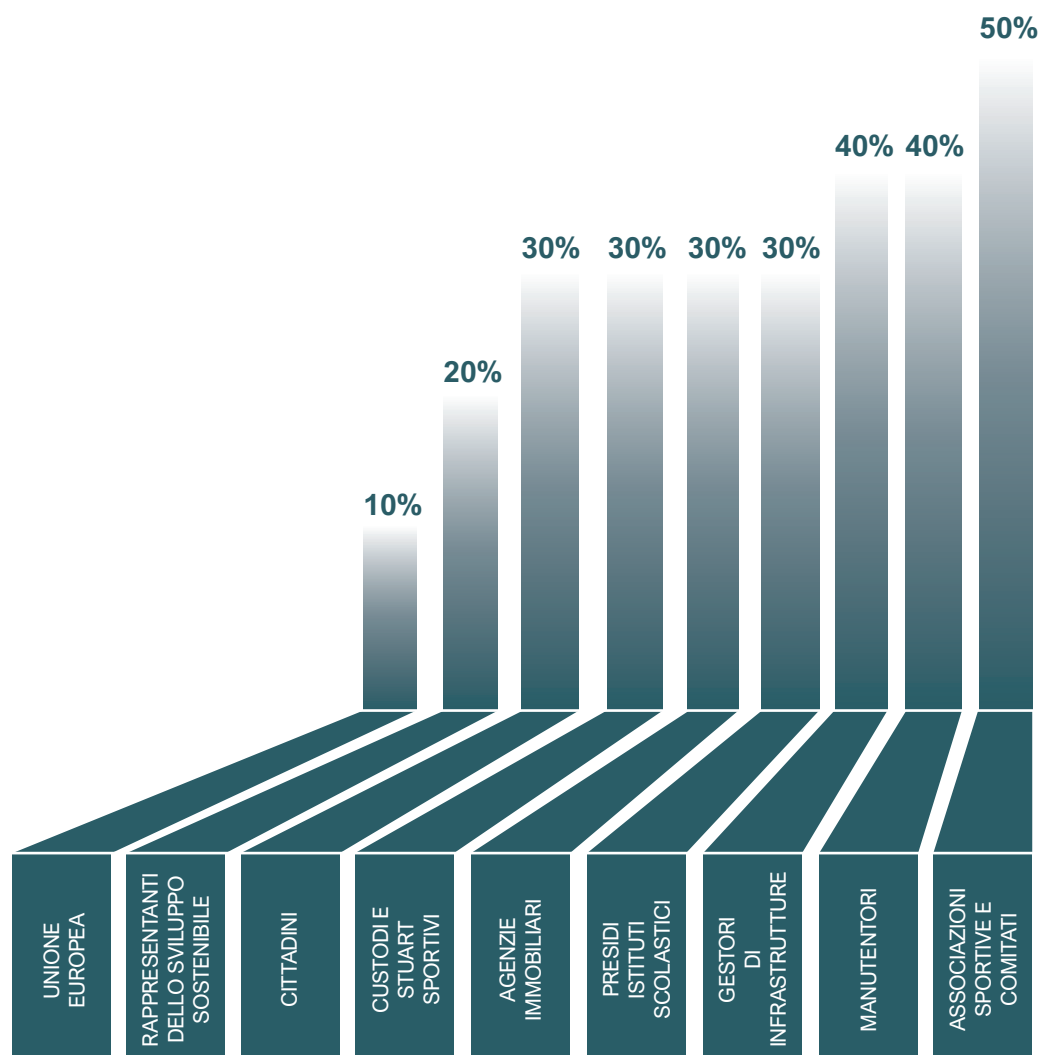
1.15. ANALISI DEGLI STAKEHOLDERS E GRADO DI ACCETTAZIONE

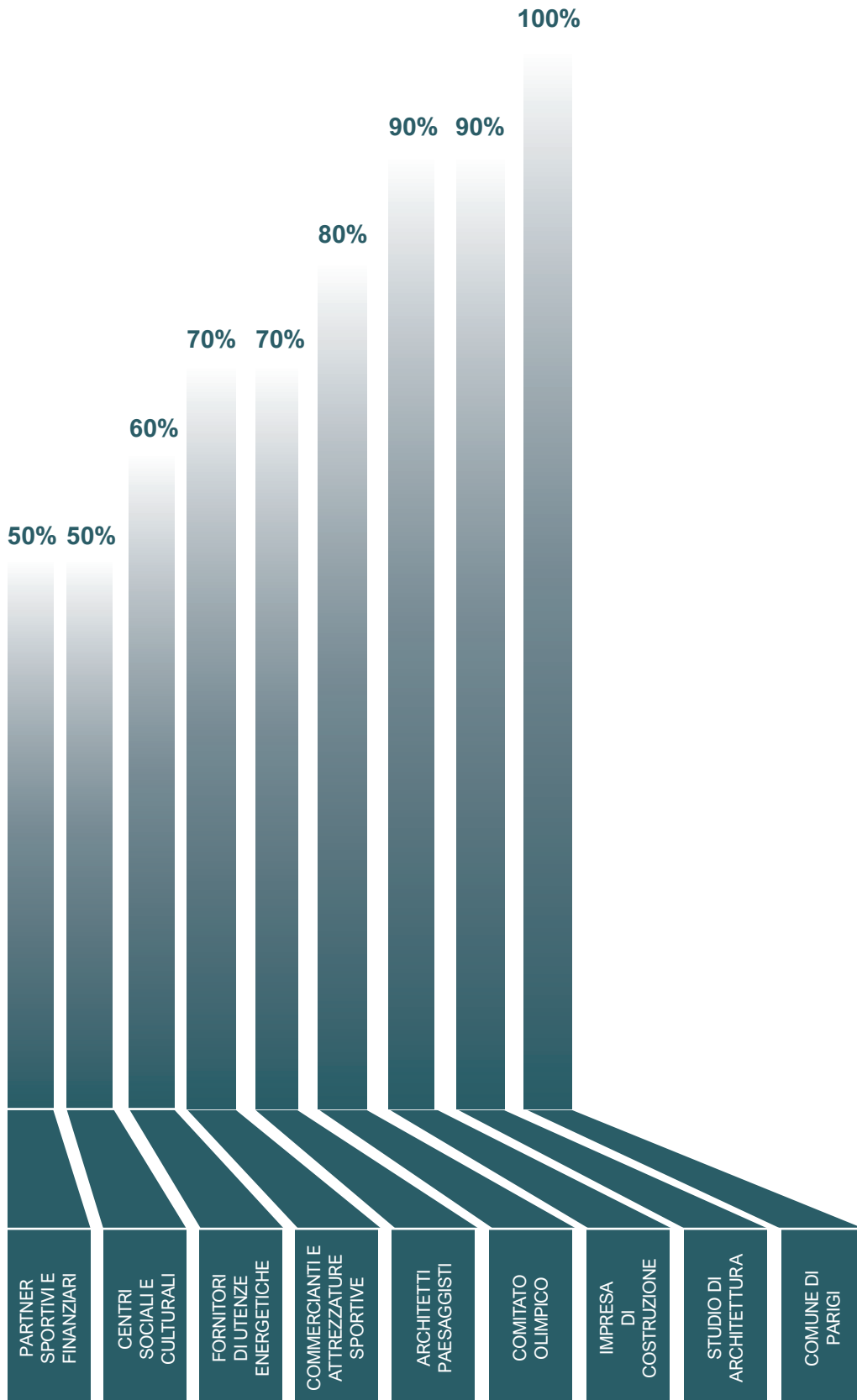
Le scelte progettuali vengono poi valutate tramite consultazioni pubbliche e concertazioni che riuniscono tutti gli attori interessati dagli impatti e che gli effetti possono influenzare. Attraverso il campo del project management viene sviluppata la Social Circle Methodology, che prevede l'individuazione dei diversi stakeholders e la valutazione degli stessi sulla base della loro distanza dal progetto rappresentata in termini percentuali (10% - coinvolgimento ridotto, 100% - alto coinvolgimento). In questo modo gli stakeholders vengono valutati in base a potere, distanza dal progetto e interesse/influenza sullo stesso.

Successivamente, a partire dal documento *Bilan de la concertation préalable à la création d'une ZAC sur le secteur Gare des Mines – Fillettes* redatto dal Comune di Parigi, viene elaborata una Community Impact Evaluation (CIE) al fine di confermare lo scenario preferibile per lo sviluppo sostenibile del quartiere, e di conseguenza che abbia ricadute positive sul resto della città.

Da come si evince dalla CIE tutti gli attori coinvolti sono favorevoli all'attuazione del progetto partecipando attivamente a tutte le fasi del progetto, a partire dalla progettazione fino alle fasi finali di realizzazione e manutenzione.

1.15.1. SOCIAL CIRCLE METHODOLOGY





	Creazione di un circuito pedonale	Superamento della cesura urbana data dal Boulevard Périphérique	Messa in sicurezza dei percorsi pedonali	Incentivazione della mobilità dolce	Recupero degli spazi inutilizzati e degradati della Porte de la Chapelle	Sviluppo di nuova rete verde	Rinnovamento delle aree verdi esistenti
Unione Europea	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Rappresentanti dello sviluppo sostenibile	😊	😞	😊	😊	😊	😊	😊
Cittadini	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Custodi e stuart sportivi	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Agenzie immobiliari	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Presidi istituti scolastici	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Gestori di infrastrutture	😊	😊	😊	😞	😊	😊	😊
Manutentori	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Associazioni sportive e comitati	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Partner sportivi e finanziari	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Centri sociali e culturali	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Fornitori di utenze energetiche	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Architetti paesaggisti	😊	😊	😊	😊	😞	😊	😊
Commercianti e gestori di attrezzature sportive	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Comitato Olimpico	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Impresa di costruzione	😊	😊	😊	😊	😞	😊	😞
Studio di architettura	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Comune di Parigi	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊

1.16. CICLO DI VITA DI UN QUARTIERE

1.16.1. PROCESSO

La scelta dello scenario 2 come quello ottimale implica la successiva prosecuzione del progetto e la valutazione dei suoi impatti anche in un momento successivo alle Olimpiadi. Promuovere una pianificazione sostenibile anche nelle fasi di attuazione e monitoraggio (in itinere ed ex post) risulta fondamentale al fine di favorire l'evoluzione di un processo dinamico, allineando il suo sviluppo con le misure di mitigazione e compensazione ambientale proposte, al fine di generare impatti positivi a cascata su tutto il microcosmo urbano che ruota intorno alle azioni di progetto.

Il progetto non termina con la conclusione delle Olimpiadi e Paralimpiadi 2024, bensì vuole essere solamente un primo punto di partenza per rilanciare la vitalità del quartiere e collegarlo al fitto tessuto urbano parigino. Per proporre una gestione sostenibile del suolo, occorre densificare gli insediamenti, senza tuttavia alterarne la qualità. Partendo dall'idea di trarre il massimo beneficio dalle infrastrutture esistenti, è importante trovare un buon equilibrio tra spazi edificati e spazi liberi e densificare in modo qualitativo in luoghi strategici. Il traffico lento, l'efficienza energetica, la riduzione del consumo delle risorse, la conservazione della biodiversità, la mescolanza funzionale e sociale, così come la presenza di spazi pubblici che facilitano gli incontri e lo svago sono tutti elementi che contribuiscono a creare un ambiente di vita sostenibile.

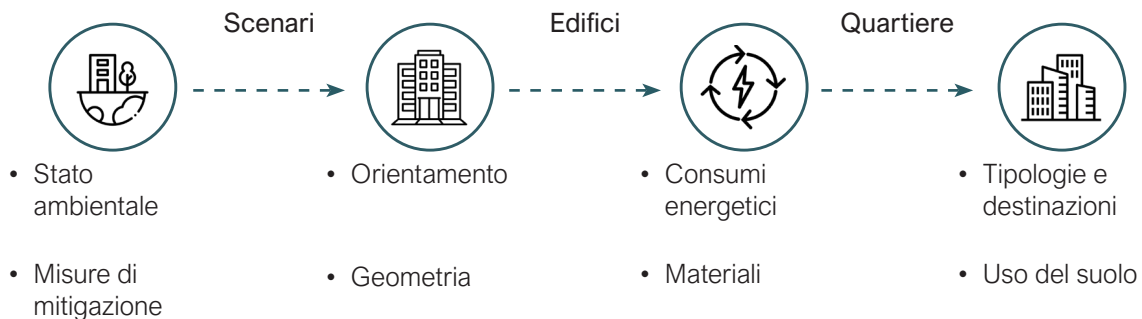
Gli attori attivi coinvolti nella buona riuscita sono numerosi: amministrazioni pubbliche, promotori, urbanisti, aziende e società civile. Per conciliare le diverse aspettative, le numerose e a volte contraddittorie esigenze, e per accomunare al meglio le competenze di ciascuno, è necessario allestire pratiche di governance adatte al contesto. Se tutti gli attori danno il loro contributo, è assai probabile che i quartieri di domani saranno quartieri pieni di vita in grado di offrire, a breve e lungo termine, un'eccellente qualità di vita ai propri utenti.

Per poter meglio individuare le misure da adottare all'interno dell'ambito di intervento, viene riportata un'analisi qualitativa del ciclo di vita del quartiere. Il bilancio ambientale di un quartiere non è nient'altro che la somma dei bilanci delle differenti tipologie di edifici e costruzioni che lo compongono, tenendo conto delle interazioni che questi hanno tra loro. Gli elementi contingenti che possono sommarsi agli effetti previsti dall'analisi sono il comportamento dei residenti all'interno del quartiere, che possono far variare specialmente i consumi energetici. Le caratteristiche del sito sono determinanti e sono classificati secondo 3 diversi approcci all'analisi:

- costruzione di un nuovo quartiere su suolo non costruito;
- demolizione di edifici su un lotto costruito e costruzione di nuovi edifici;
- comparazione tra rigenerazione e rinnovo (demolizione + costruzione) di un lotto esistente.

L'ultimo è il caso in cui rientra l'ambito di progetto Gare de Mines-Fillettes, poiché con l'azione di riqualificazione urbana e la promozione di un nuovo distretto sportivo si propone di utilizzare e ampliare le infrastrutture esistenti e rinnovare e realizzare nuove costruzioni a supporto non solo dell'evento sportivo dei Giochi Olimpici 2024, ma anche di permettere un accesso maggiore ai servizi alla popolazione che vi abita, oltre a promuovere crescita economica e aggregazione socio-culturale della mixité.

Il processo di valutazione segue questa logica:



Il mix funzionale di un quartiere è auspicabile per favorire uno spazio mutabile e attraente per la popolazione che lo abita. Un quartiere nel quale la popolazione abita, lavora, consuma, si diverte e si rilassa è un quartiere vivo, con spazi pubblici frequentati a qualsiasi ora del giorno e, quindi, un luogo dove gli abitanti si sentono sicuri. Inoltre, promuovere manifestazioni culturali o gli atelier artistici, spazi educativi e gli orti urbani allestiti in prossimità delle abitazioni favoriscono lo scambio tra gli abitanti e l'integrazione sociale.

Per quanto riguarda l'energia, la combinazione di diverse fonti energetiche consente di rispondere alle diverse esigenze in ambito di elettricità, riscaldamento e acqua calda. Inoltre, quasi un quarto del bilancio energetico della fase di costruzione di un quartiere proviene dall'energia grigia dei materiali utilizzati. Ecco perché occorre optare per materiali locali, certificati e poco energivori. Il controllo dei costi globali nell'ambito dell'intero ciclo di vita del quartiere implica una riflessione sul lungo termine che va effettuata sin dall'inizio del progetto. Per quel che concerne la scelta dei materiali va tenuto conto anche dei regolari costi di manutenzione a medio e lungo termine.

Per un nuovo quartiere, è senza dubbio sensato rispettare le reti naturali esistenti ed è raccomandabile praticare il prerinverdimento, piantando appena possibile alberi e arbusti per preparare il futuro paesaggio urbano. Una manutenzione differenziata, intensiva o estensiva degli spazi pubblici in funzione della loro diversa fruizione offre il doppio vantaggio di ridurre i costi e favorire la biodiversità urbana.

Una gestione sostenibile dell'acqua a livello di quartiere consente di ridurre la pressione su questa preziosa risorsa e persino di fare in modo che ne possano approfittare anche biotopi come stagni e ruscelli. L'aumento inarrestabile di superfici permeabili oppure l'utilizzo dell'acqua piovana per i servizi igienici o l'annaffiatura sono esempi da seguire poiché favoriscono la biodiversità e lo sviluppo di un paesaggio di qualità. Si prevede l'utilizzo di cemento drenante per i nuovi parcheggi, sempre nell'ottica di ridurre urbanizzazione e uso del suolo al minimo indispensabile, auspicando al principio di sufficiency.

1.16.2. SVILUPPI

MOBILITÀ SOSTENIBILE

Ulteriore aspetto di una progettazione sostenibile consiste nell'armonizzare le diverse tipologie di spostamento, a partire dalla fitta rete di trasporto pubblico esistente, integrando diverse tipologie di mobilità dolce (biciclette, monopattino elettrico) all'interno dei percorsi ciclopedonali, oltre a creare nuovi collegamenti sicuri e accessibili a tutti gli utenti all'interno del distretto e verso i poli attrattivi.

La mobilità sostenibile è combinata e ha numerose sfaccettature. Essa richiede un'armonizzazione delle diverse esigenze degli utenti e la condivisione della rete viaria affinché i diversi vettori (camminare, bici, trasporti pubblici e automobile) possano coesistere in modo efficace e senza comportare pericoli. Un'altra esigenza fondamentale è quella di garantire l'accesso allo spazio pubblico alle persone a mobilità ridotta.

Inoltre per quanto riguarda il traffico automobilistico, oltre ad essere contrastato da zone di traffico limitato e limitazioni sul passaggio dei veicoli, vengono prese in carico misure peregrinare inquinamento atmosferico e acustico verso la Boulevard Periferique. Recentemente il sindaco di Parigi Anne Hidalgo ha annunciato il nuovo piano di trasformazione di Boulevard Périphérique, una tangenziale da tempo nota per la sua congestione e l'inquinamento. Pensato per essere attuato dopo la fine dei Giochi Olimpici 2024, il piano trasformerà l'autostrada "da una cintura grigia a una cintura verde", ha dichiarato Hidalgo, riservando una corsia per ogni direzione a taxi, autobus, car-pooling e accessi di emergenza. L'autostrada si ridurrebbe così a tre corsie completamente accessibili in ogni direzione, rispetto alle quattro attuali. Il nostro progetto affiancherebbe questo piano nell'ottica di rinascita del quartiere in uno scenario post- Olimpiadi.

"La circonvallazione è un'infrastruttura essenziale", ha dichiarato Hidalgo durante la conferenza stampa. "500.000 persone vivono intorno ad essa e sono esposte a un inquinamento acustico e atmosferico molto significativo. 130.000 abitanti respirano un'aria di pessima qualità e 144.000 subiscono il rumore della strada oltre i limiti stabiliti dal codice ambientale per il centro di Parigi". Questa mossa permetterebbe la riconversione di circa dieci ettari dell'attuale tangenziale parigina a terreno alberato. Queste nuove proposte si aggiungeranno ai lavori di ristrutturazione già in corso in nove importanti incroci che collegano la tangenziale al centro di Parigi, per creare una strada complessivamente più verde, pulita e facile da attraversare.

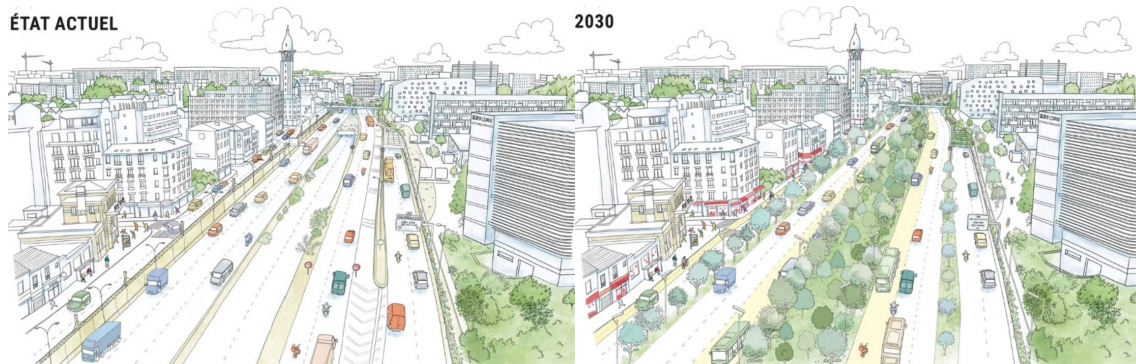


Figura II.1.12. Paris, Boulevard Périphérique. Stato attuale e previsione 2030.
Fonte immagine: domusweb.it

URBAN LIVING LABORATORIES

Il progetto LOOP ha una visione multidimensionale, che integra tematiche come sport, comunità e verde: oltre a promuovere con azioni la rinascita di una comunità mediante lo sport, vengono implementati i sistemi di housing, accessibilità e sistema del verde. Questo complesso programma necessita di un network di cooperazione fra i vari attori coinvolti, al fine di comprendere lo stato di fatto della zona e poter esaminare i cambiamenti futuri o in atto e le loro ripercussioni sul sistema urbano dell'intera città.

Gli Urban Living Lab possono essere integrati come uno strumento di pianificazione e concertazione pubblica, che possa al meglio direzionare le scelte progettuali dei singoli attori e stakeholders verso una soluzione unitaria, condivisa e replicabile verso la transizione sostenibile. Il ruolo degli ULLs nelle rigenerazioni urbane risulta determinante nella misura in cui la progettazione vuole essere multidimensionale, e quindi tiene in considerazione diversi settori e le loro interazioni, al fine di generare impatti positivi a cascata che proiettino la città verso un futuro circolare e sostenibile. La nuova prospettiva di una città circolare è quello di esaminare l'attuale stato del sistema urbano per poi andare ad attingere a nuove idee proposte dai vari attori, che sono chiamati a introdurre i loro interessi e il loro know-how: l'intento è quello di attivare network di cooperazione fra vari attori e fra attori e istituzioni, per introdurli ai cicli di risorse e generare nuove strategie che abbiano come fine ultimo il migliorare la qualità della vita, insieme con l'adozione dei principi dell'economia circolare.

Il coinvolgimento collettivo negli ULLs lo svolgono attività di laboratorio per gruppi di studenti e ricercatori, al fine di includere la sperimentazione come un valido approccio alla pianificazione urbana; inoltre, con il progredire della tecnologia, nuovi attori sociali si uniscono alle collaborazioni, rendendo necessari ulteriori cicli di apprendimento: si tratta di learning-by-doing, in cui gli attori locali scoprono le possibilità di ricerca di soluzioni innovative. Questi aspetti potrebbero integrarsi nel progetto all'interno degli spazi di ricerca e dei laboratori creativi della Station Gare de Mines; inoltre, nell'ottica di uno scenario post-Olimpiadi potrebbero collocarsi nella stessa arena polifunzionale, per dare una soluzione di continuità alla vita del quartiere. In questo modo, l'entità dell'Urban Living Lab non deve conferire il solo assetto spaziale e temporale, ma tradurre la replicabilità delle soluzioni sviluppate in cicli di informazione, che possano poi essere applicati in altri contesti: l'approccio sistemico dedicato all'ampliamento di nuove idee è un aspetto trasversale che attraversa i confini fisici e caratterizza il pensiero verso cui deve tendere il sistema urbano, in un cambiamento che procede dal basso (cittadini, utenti, utilizzatori) verso l'alto (istituzioni, abilitatori, fornitori) e viceversa.

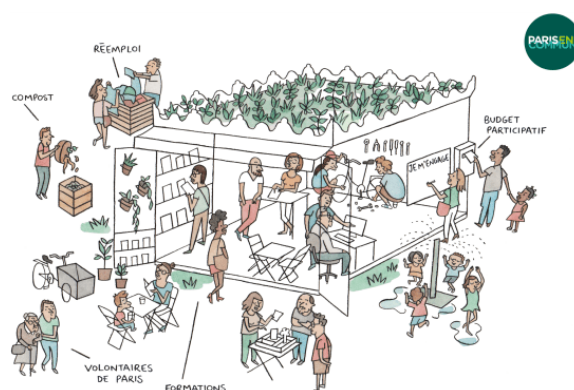


Figura II.1.13. Paris, Ville du quart d'heure et ULLs
Fonte immagine: fastcompany.com

02

URBAN MASTERPLAN

2.1. INTRODUZIONE

A seguito della scelta dello scenario più adatto, viene attuato l'assetto strategico all'interno del masterplan: in questo modo viene data una forma alle funzioni già definite, per mezzo del tessuto edificato e spazio pubblico, del sistema del verde, dei collegamenti. Inoltre, l'impostazione del planivolumetrico, integrato con le linee guida, strumenti e dettagli, permette la comunicazione delle informazioni necessarie per la futura attuazione e gestione.

2.1.1. CONCETTO DI POLIFUNZIONALITÀ

Essendo in calo la disponibilità di nuovi luoghi pubblici in aree urbane, in particolare che racchiudano un'ampia parte dedicata a spazi verdi, in una città così densamente costruita come quella di Parigi, è fondamentale massimizzarne gli effetti benefici che ne derivano in molteplici modalità, utilizzando quindi un approccio che si basi sulla polifunzionalità.

La multifunzionalità, infatti, tiene conto di diversi aspetti legandoli tra loro e creando spazi continui, con zone di transizione e luoghi che rispondano a specifiche richieste ed esigenze diversificate. In particolare, le zone di transizione permettono di non avere delimitazioni rigide tra elementi funzionali, ma offrono percorsi che si snodano intorno agli elementi stessi.

Tale approccio può essere quindi applicato sia a scala urbana, sia all'interno di edifici che devono fornire servizi diversificati.

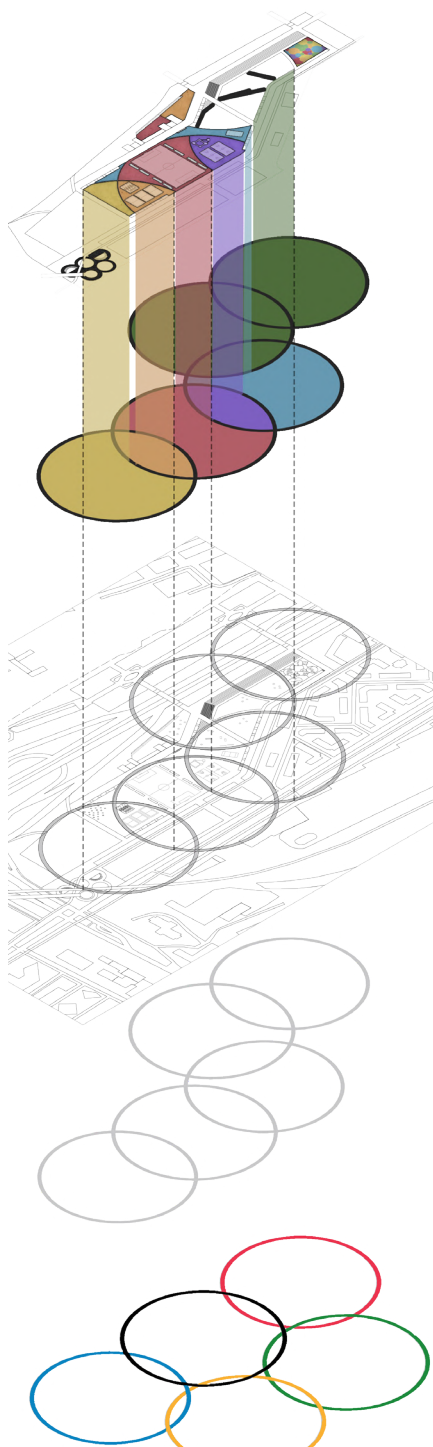


Figura II.2.1. Disegno dei cerchi all'interno del masterplan

DEFINIZIONI

- *Polifunzionalità*: Carattere di ciò che è polifunzionale;
- *Polifunzionale*: In genere, che può assolvere molteplici funzioni, che può essere adibito a usi diversi. Si dice, in particolare, di complessi edilizi, spazi attrezzati, ecc., progettati per adempiere a una pluralità di funzioni e servizi; centro p., complesso architettonico o urbanistico in grado di ospitare mostre, congressi, convegni, corsi di formazione e aggiornamento, ecc., fornendo i relativi servizi di segreteria, traduzione simultanea, ecc., munito per lo più di strutture alberghiere, commerciali e per il tempo libero.

2.2. IL PROCESSO IDEATIVO

Riferimento tavola 12

2.2.1. I CINQUE CERCHI OLIMPICI

Durante la fase di ideazione è stato formulato il disegno del masterplan tramite i cinque cerchi olimpici: posti all'interno dell'area hanno permesso di definire gli spazi e le loro funzioni, tradotte tramite l'utilizzo di differenti colori di pavimentazione e piantumazione del verde. In questo modo una porzione del distretto sportivo viene ribassata a 3,5m, sfruttando il doppio livello dell'arena polifunzionale e garantendo ambienti di pertinenza per i campi e le attività sportive per bambini e per adulti, con integrati servizi di ristorazione.

L'idea del disegno dei cerchi indica la volontà di lasciare traccia della rigenerazione urbana e del suo motore di sviluppo principale, i Giochi Olimpici 2024. Di seguito vengono segnalati i colori e la definizione delle rispettive zone, dove le loro intersezioni generano il colore complementare:

- giallo per l'area ristoro;
- arancione per campi da beach volley e area tappeti elastici;
- rosso per campi da calcio;
- viola per campi da basket e percorso avventura;
- blu per campi da padel.

Per quanto riguarda il cerchio nero, il colore è stato utilizzato per campire i percorsi pedonali all'interno dell'area ribassata.

2.2.2. ALTIMETRIA AREA

La variazione cromatica data dai cerchi ha permesso di sviluppare un livello ribassato ospitante varie attività sportive, aree gioco e zone relax per tutte le età, favorendo aggregazione sociale: inoltre, viene così valorizzato lo spazio pubblico e la disciplina sportiva, permettendo a chiunque di osservare gli sportivi al piano inferiore, e se motivati posso poi raggiungere l'area, tramite accessi facilitati da gradoni e rampe.

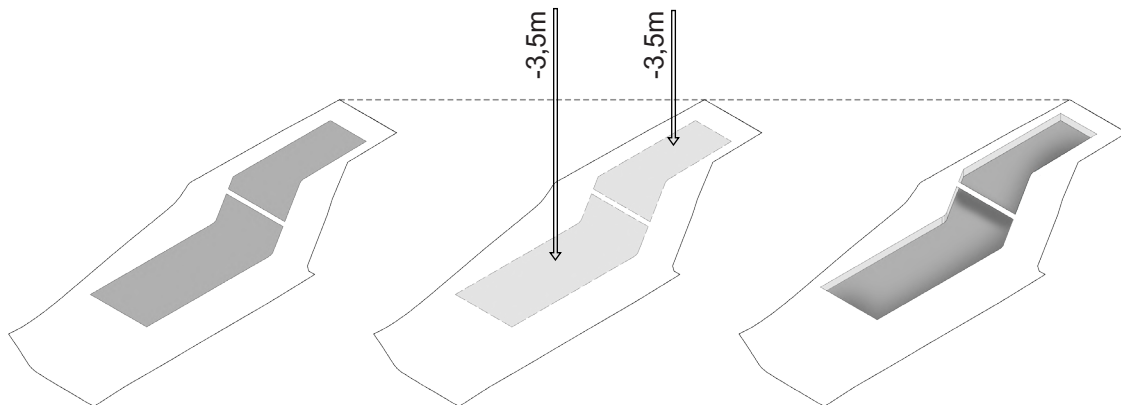


Figura 11.2.2. Schema del ribassamento

2.2.3. COLLEGAMENTI

Essendo l'area divisa dalla tangenziale, vengono realizzati collegamenti in quota fra il distretto sportivo e quello produttivo dei servizi legati ad esso: questi portano agli uffici logistici e ai nuovi hub di ricerca sportiva, intervallati da cortili produttivi che collegano la residenza Valentin Abeille per i lavoratori ai laboratori e industrie creativi della Station Gare des Mines. Inoltre, la rete ciclopedonale collega la piazza dell'Arena a Porte d'Aubervilliers insieme a collegamenti permeabili integrati al sistema del verde.

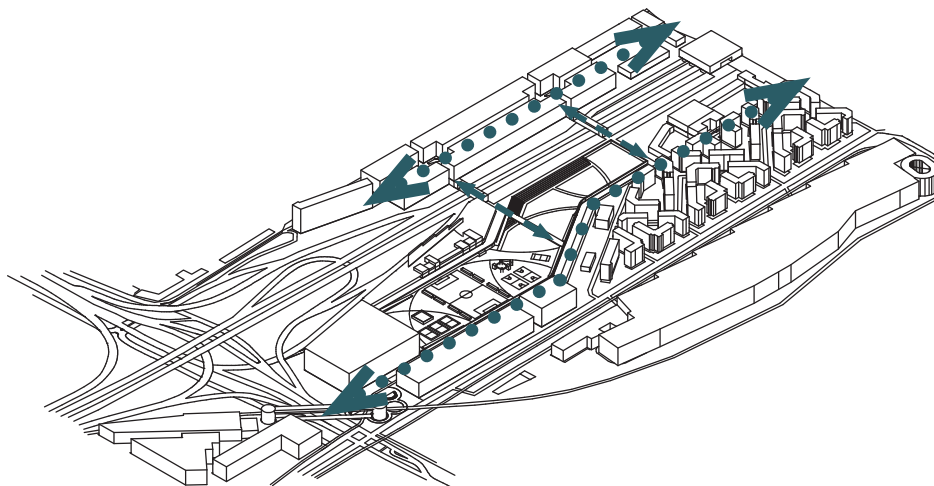


Figura 11.2.3. Schema dei collegamenti

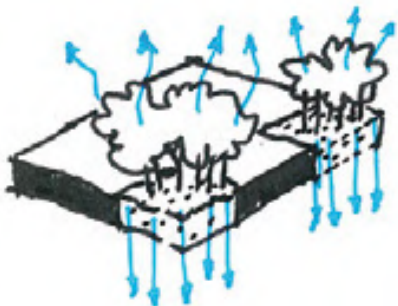


Figura II.2.4. Deimpermeabilizzazione del suolo

Fonte immagine: *Préservation et valorisation de la ressource en eau brute- Une gestion parisienne des eaux pluviales*, Apur

2.3. MIGLIORAMENTO DELLA PERMEABILITÀ DEL SUOLO

Come già accennato nel paragrafo 1.2.3 "La permeabilità del suolo", vi sono margini di miglioramento per rendere il suolo parigino meno impermeabile al passaggio dell'acqua, andando così a mitigarne gli effetti sulla vegetazione e a modificare l'attuale canalizzazione all'interno degli edifici.

2.3.1. GLI EFFETTI SULLA VEGETAZIONE

La vegetazione svolge un ruolo fondamentale in città e i suoi benefici ambientali, oltre a quelli legati alla biodiversità, comprendono anche la modificazione del clima urbano mediante l'abbassamento della temperatura e il miglioramento della qualità fisico-chimica dell'aria delle città.

Senza acqua, la vegetazione non può sopravvivere. In particolare, l'albero si rifornisce dal terreno, dove le sue radici pompano l'acqua necessaria per il suo corretto sviluppo. Attualmente a Parigi gli alberi adulti sono spesso in stress idrico. Infatti, l'impermeabilizzazione del suolo non permette più lo scambio di aria, di materia organica ma anche di acqua tra la superficie e la terra, con l'acqua piovana che ritorna verso le tubature.

L'abbassamento della temperatura legato alla presenza degli alberi è direttamente correlato alla densità del loro fogliame, perciò un albero in stress idrico non può svolgere il suo ruolo di regolatore termico.

Originariamente, le griglie degli alberi in ghisa evitavano il compattamento della terra e consentivano il deflusso delle acque piovane dal marciapiede alla fossa dell'albero. Oggi, la mancanza di manutenzione non consente più alle acque piovane di defluire verso gli alberi.

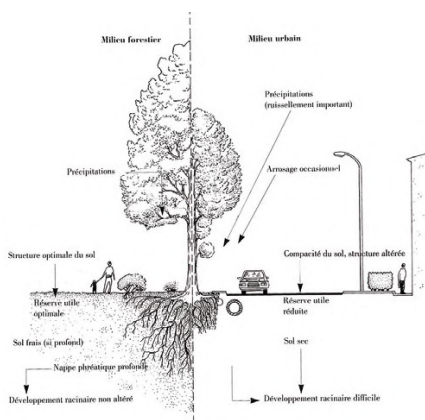


Figura II.2.5. Impatto dell'acqua sullo sviluppo degli alberi

Fonte immagine: *Préservation et valorisation de la ressource en eau brute- Une gestion parisienne des eaux pluviales*, Apur

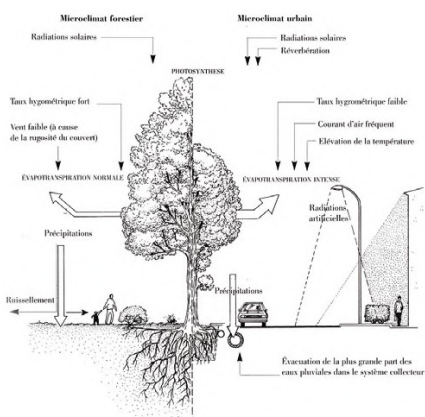


Figura II.2.6. Impatto del microclima urbano sullo sviluppo degli alberi

Fonte immagine: *Préservation et valorisation de la ressource en eau brute- Une gestion parisienne des eaux pluviales*, Apur

2.3.2. L'ACQUA E GLI EDIFICI

A metà del XIX secolo, prima che l'acqua fosse trasportata a tutti i piani dalle reti idriche, i parigini si rifornivano essenzialmente attraverso i pozzi privati, le fontane pubbliche e i portatori d'acqua che salivano ai piani. L'evacuazione delle acque domestiche e piovane era mal controllata e le fosse fisse o mobili, impiantate nel sottosuolo, non erano sempre impermeabili e spesso traboccavano. Le acque erano sinonimo e vettore di insalubrità.

Dall'inizio del XX secolo, la canalizzazione di tutte le acque ha ampiamente contribuito al risanamento delle città e ha cambiato radicalmente il suo ciclo. La ricerca sistematica di una buona impermeabilizzazione dei pavimenti e delle pareti ha portato però a un degrado sull'edificio parigino, in quanto l'acqua per essenza ha bisogno di circolare.

2.3.3. POSSIBILI STRATEGIE

La comunità può rendere la superficie degli spazi pubblici più permeabile adottando diverse strategie, in maniera tale da rendere permeabili fino a 252 ettari.

CREAZIONE DI FILARI CONTINUI DI ALBERI

La creazione di filari di alberi continui è una delle principali strategie per favorire l'infiltrazione dell'acqua nel suolo. Essi permettono infatti, a seconda della natura dei materiali di cui sono fatti, di infiltrare l'acqua piovana o addirittura di ricevere l'acqua dei marciapiedi. Un cambiamento dell'attuale pavimentazione renderebbe quindi questi spazi permeabili e contribuirebbe a un cambiamento qualitativo del paesaggio urbano.

RICONVERSIONE DEI PARCHEGGI SU STRADA

La conversione dei parcheggi è una strategia possibile a causa di modifiche normative, come il divieto di parcheggiare a meno di 5 m da un attraversamento pedonale, e anche grazie al continuo declino del possesso di automobili da parte delle famiglie, oltre alla crescente sovra-capacità dei parcheggi in relazione alle esigenze.

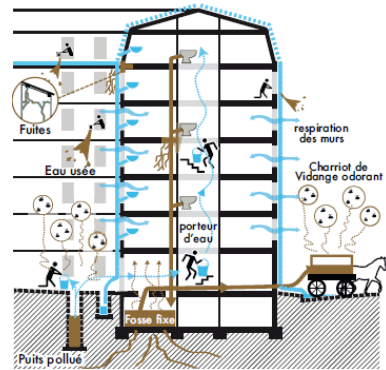


Figura II.2.7. Acqua ed edifici, inizio XIX secolo

Fonte immagine: *Préservation et valorisation de la ressource en eau brute- Une gestion parisienne des eaux pluviales*, Apur

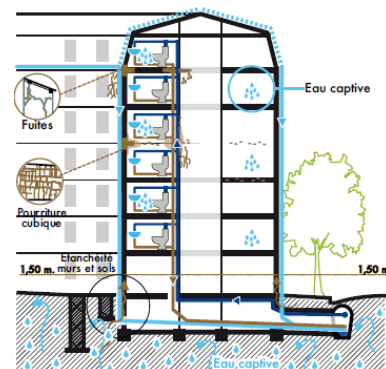


Figura II.2.8. Acqua ed edifici, dalla fine del XIX-XXI secolo fino ai giorni nostri

Fonte immagine: *Préservation et valorisation de la ressource en eau brute- Une gestion parisienne des eaux pluviales*, Apur



Figura II.2.9. Riconversione parcheggi su strada

Fonte immagine: *Gérer les eaux pluviales à paris, atlas du potentiel par bassin versant*, Apur

FAVORIRE IL RIUTILIZZO

Nell'era del riuso e del recupero della mobilità, i suoli di Parigi potrebbero dover cambiare. In particolare, lastre a fessura si trovano comunemente sui marciapiedi e fanno parte di un approccio allo sviluppo sostenibile: lunga durata (da 100 a 200 anni), posa diretta su ghiaia e geotessile, quindi senza cemento o sabbia, autostabilità. Sono inoltre facili da mantenere e più confortevoli per i pedoni rispetto alle pietre da pavimentazione. Infine, i giunti porosi di 15 mm consentirebbero un'infiltrazione diffusa dell'acqua.

RENDERE VISIBILE IL CICLO DELL'ACQUA

I suoli sono possibili supporti per una riscoperta del ciclo dell'acqua in città. In particolare, i bocchettoni sui marciapiedi, generalmente in ghisa, conducono l'acqua in modo da alimentare i pozzetti degli alberi o le cassette delle finestre, ma anche le zone di infiltrazione lontane dalle facciate e le reti interraste. Inoltre, una modifica del livellamento potrebbe consentire di immagazzinare l'acqua piovana sulla superficie e di convogliarla in corsi d'acqua leggibili.

MIGLIORAMENTO DELLA CONDIZIONE DELLA VEGETAZIONE

Sono molte le azioni possibili per migliorare le condizioni degli alberi in città e per fornire loro più acqua:

- Livellare i bordi delle aree piantumate;
- Inumidire il terreno intorno agli alberi creando delle fosse continue, ad esempio con pietre e/o lastre di pavimentazione non sigillate che permettano al terreno di respirare, oppure con griglie perforate;
- Valorizzare i piedi degli alberi consentendone l'appropriazione da parte dei residenti, a seconda del contesto.

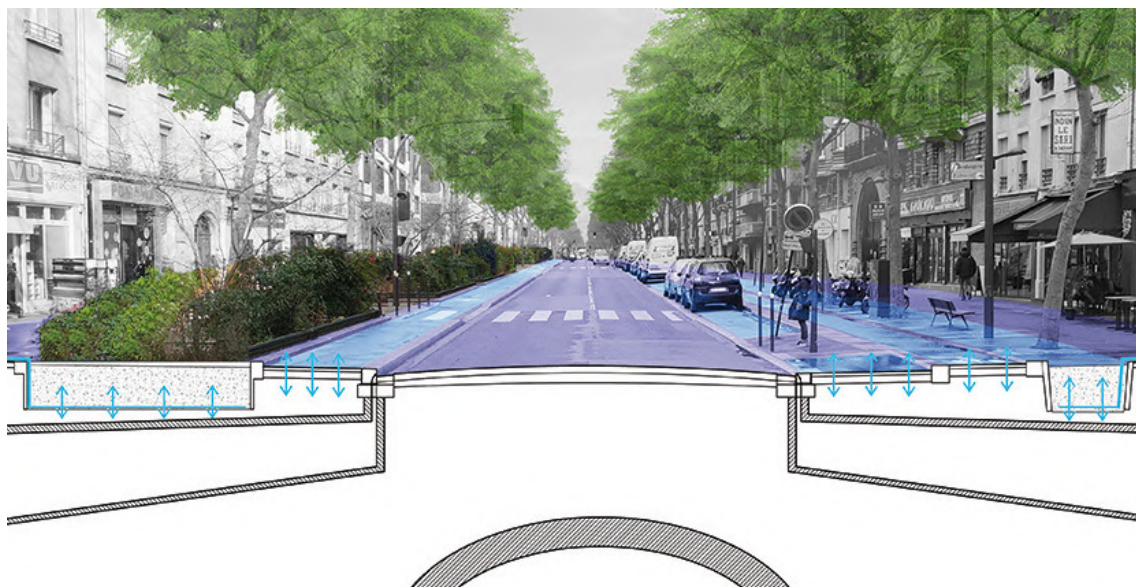


Figura II.2.10. Esempio di attuazione delle strategie su Avenue Jean Jaurès
 Fonte immagine: *Préservation et valorisation de la ressource en eau brute- Une gestion parisienne des eaux pluviales*, Apur

PERMEABILITÀ DEGLI EDIFICI

È ormai diffuso l'utilizzo delle pitture microporose che permettono al vapore acqueo di circolare liberamente. L'aggiunta di vegetazione può inoltre rafforzare questa "evacuazione" naturale (evapotraspirazione), fornendo al contempo un innegabile piacere e comfort ai residenti.

CREAZIONE DI BUCHE DI PIANTUMAZIONE

I residenti dello stesso quartiere hanno la possibilità collaborare a un progetto comune di rinverdimento per migliorare l'ambiente in cui vivono. I residenti interessati possono infatti richiedere la creazione di una buca di piantumazione ai piedi di un edificio o ai bordi di un marciapiede. I servizi tecnici del Comune esamineranno la richiesta e prenderanno in carico i lavori (rimozione della pavimentazione, ricreazione della pavimentazione, creazione della fossa, fornitura di terriccio).

2.3.4. ATTUAZIONE DELLE STRATEGIE

All'interno dell'area di progetto è stato notevolmente implementato il sistema del verde. Questo non solo favorisce una migliore qualità ambientale, ma anche la permeabilità del suolo come spiegato precedentemente.

Infatti, lungo il viale principale che collega la nuova piazza dell'Arena a Porte d'Aubervilliers, è presente la pista ciclabile affiancata da filari di alberi continui. Essi presentano bordi livellati nell'area piantumata, mentre lateralmente si rende visibile il ciclo dell'acqua tramite bocchettoni in ghisa.

Inoltre tutta la pavimentazione dei collegamenti ciclo-pedonali viene realizzata con materiali traspiranti. In particolare vengono utilizzate lastre a fessura per le parti utilizzate dai pedoni, mentre per la pavimentazione della pista ciclabile e dell'area sportiva nella piazza ribassata vengono utilizzati materiali eco-sostenibili con resine acriliche colorate in dispersione acquosa e cariche.

Anche il parco presenta un'area piantumata livellata e grazie agli orti didattici posizionati su gradoni verdi l'acqua può defluire anche in modo visibile verso i bocchettoni in ghisa.

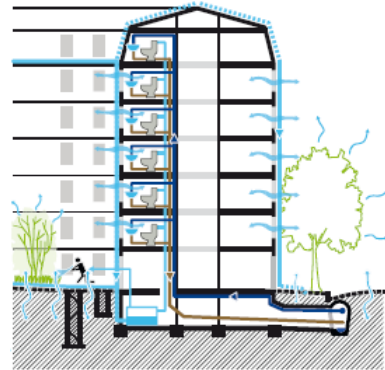


Figura II.2.11. Nuova canalizzazione dell'acqua negli edifici

Fonte immagine: *Préservation et valorisation de la ressource en eau brute- Une gestion parisienne des eaux pluviales*, Apur



Figura II.2.12. Creazione di buche di piantumazione

Fonte immagine: *Gérer les eaux pluviales à Paris, atlas du potentiel par bassin versant*, Apur

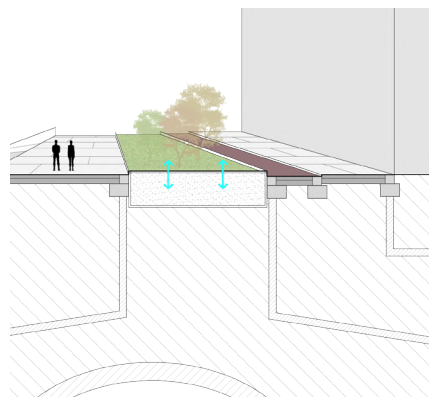


Figura II.2.13. Filari di alberi continui lungo la pista ciclabile

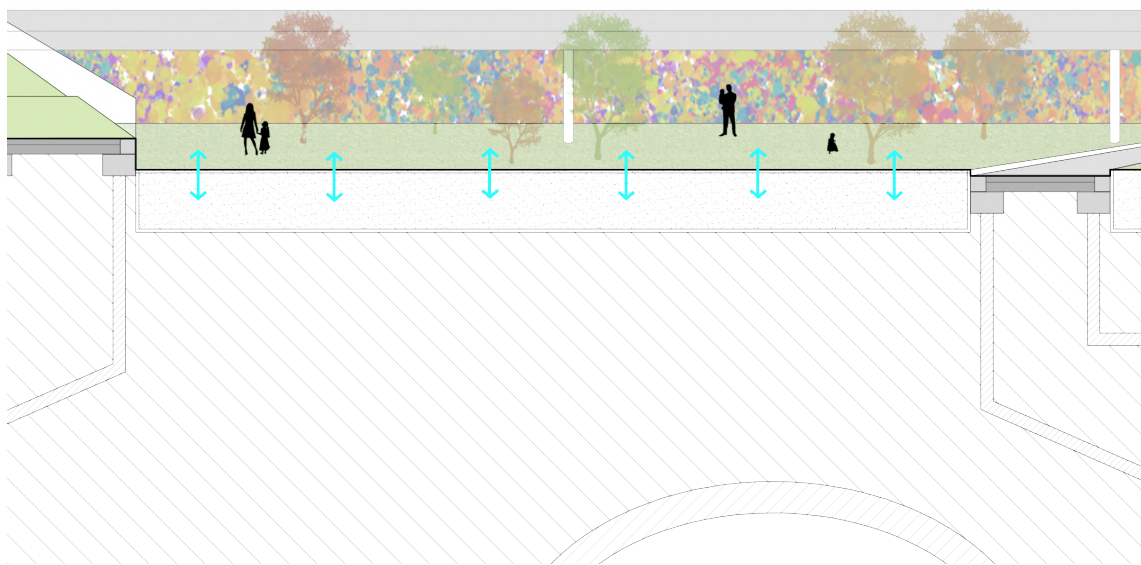


Figura II.2.14. Permeabilità del suolo nel parco

La piazza d'Arena è caratterizzata da differenti livelli che consentono il deflusso naturale dell'acqua. Sono presenti anche aree verdi e spazi ribassati, i quali presentano un sistema di raccolta dell'acqua tramite bocchettoni in ghisa.

Infine, all'interno della Cité Charles Hermite, in un'ottica di riduzione di emissioni ed implementazione del trasporto pubblico, numerosi parcheggi saranno convertiti in filari di alberi.

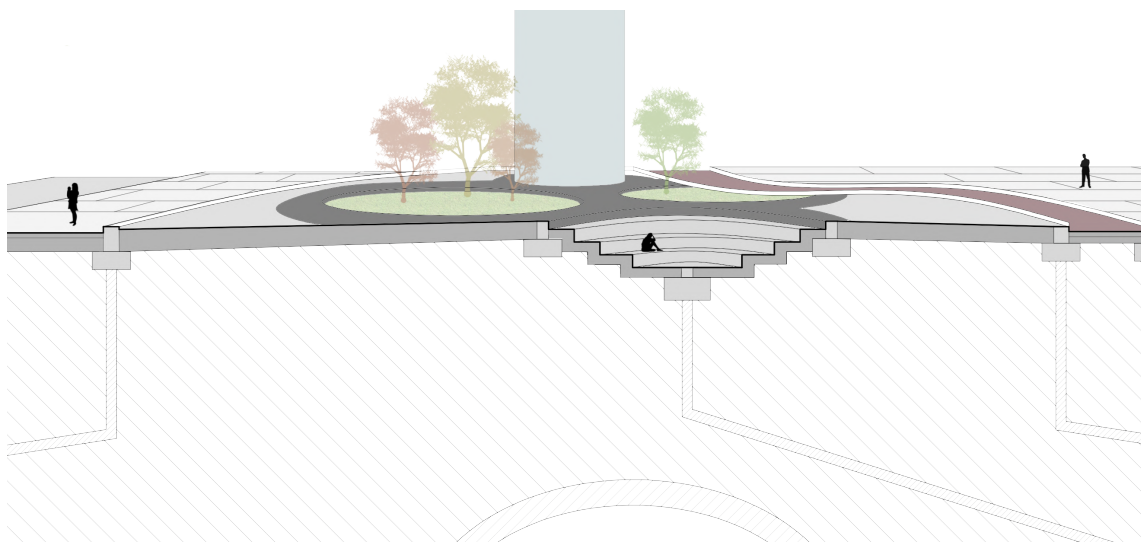


Figura II.2.15. Raccolta dell'acqua nella piazza dell'Arena

2.4. FASI PROGETTUALI E ACCESSIBILITÀ

Riferimento tavole 13-16

Partendo dal tessuto esistente di connessioni, verde e preesistenze, viene sviluppato il progetto evidenziato dal disegno del verde e delle connessioni, all'interno dell'area, in quota fra la parte ribassata e il piano stradale: questo diventa non solo un luogo di transito ma anche uno spazio pubblico e un'occasione per osservare gli eventi sportivi che avvengono al piano ribassato.

L'area di progetto viene collegata anche al vicino campus Condorcet, tramite un collegamento in quota, affiancato al percorso della funicolare preesistente: questo si sviluppa a partire dalla piazza dell'arena, segnata da spazi di seduta e verdi a forma di cerchi olimpici, come landmark caratteristico.

Altri collegamenti dall'area che vengono sviluppati sono quelli che conducono allo skatepark, che viene realizzato utilizzando spazi in disuso sotto il cavalcavia della tangenziale, abbellito con rampe e colori a servizio di roller e skate: è possibile noleggiare in spazi appositi l'attrezzatura, per poi recarsi nelle zone apposite.

Il distretto sportivo si apre tramite accessi dal piano stradale: al livello ribassato si trovano i campi sportivi e l'area ristoro, per poi incontrare il parco attrezzato e gli orti didattici, integrati con spazi gioco per i bambini, in modo da permettere sia a grandi che piccoli di trovare uno spazio ludico e rilassante; il tutto è sottolineato dai colori accesi della parte ribassata. L'accesso all'arena è possibile sia dal piano stradale che dal piano ribassato, tramite un foyer d'ingresso che sfrutta il doppio livello.

È possibile risalire al piano superiore tramite un mall sportivo, dove è possibile acquistare accessori e gadget: lo spazio che si apre poi superiormente è servito da una parete d'arrampicata a quattro livelli, a seconda del livello di esperienza. Inoltre, questa è a parziale protezione del distretto sportivo, assorbendo rumore e inquinamento proveniente dalla Boulevard Periferique, insieme con una foresta lineare a contorno dell'area.



Figura 11.2.16. Rampe per skateboard



Figura 11.2.17. Rampe per skateboard



Figura 11.2.18. Stand per il noleggio dell'attrezzatura



Figura 11.2.19. Area roller

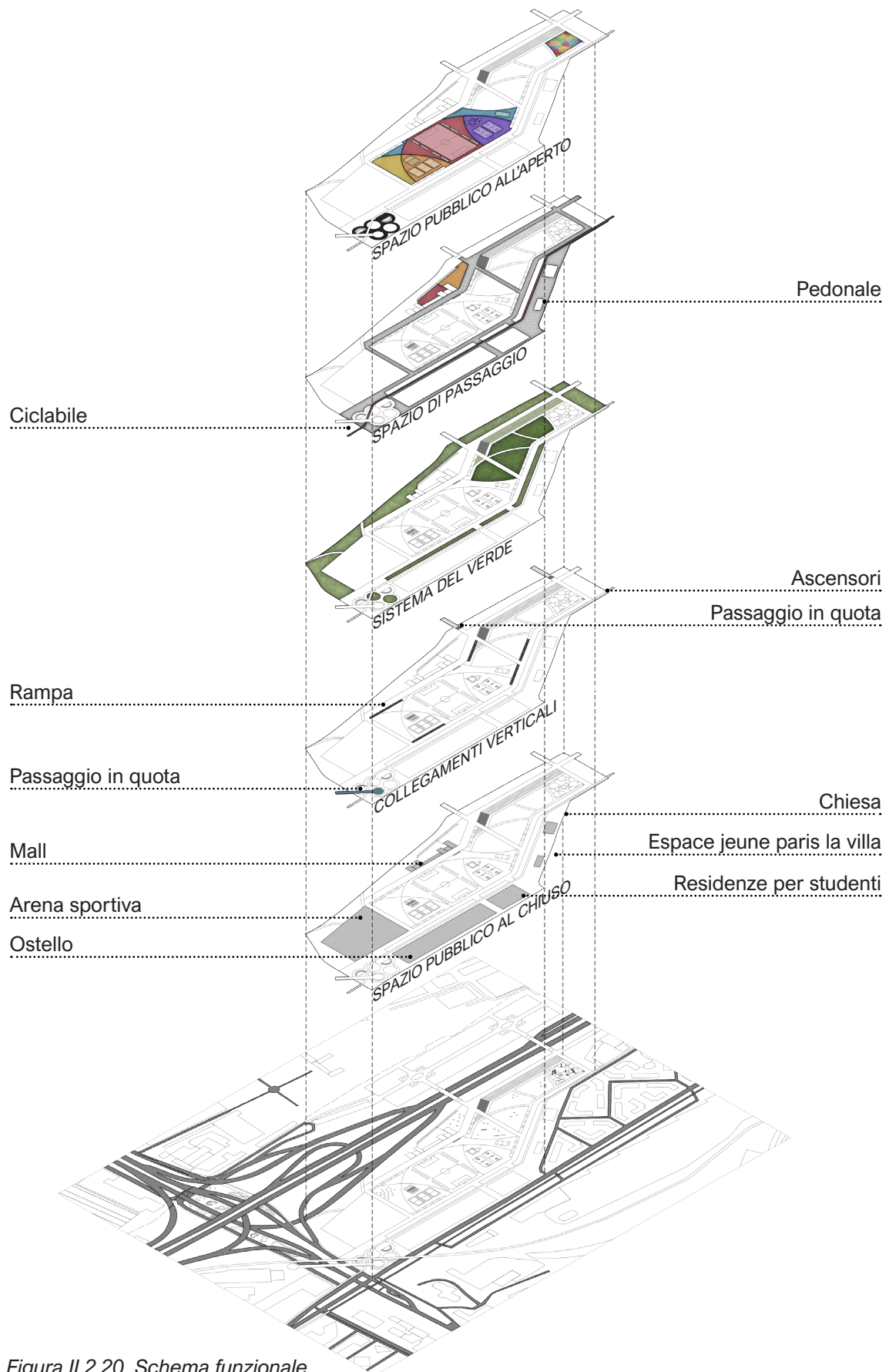
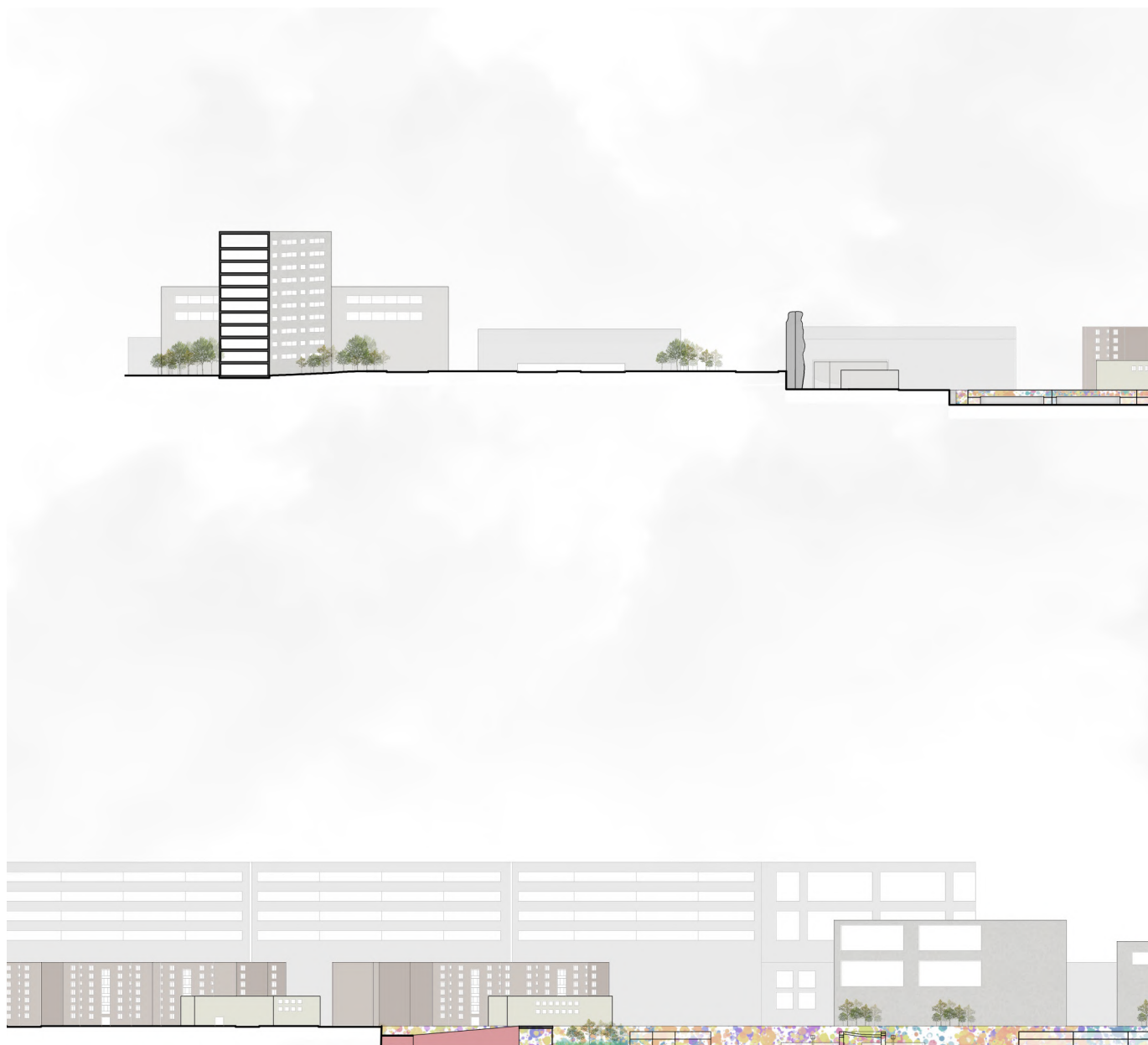


Figura II.2.20. Schema funzionale

SEZIONI AMBIENTALI



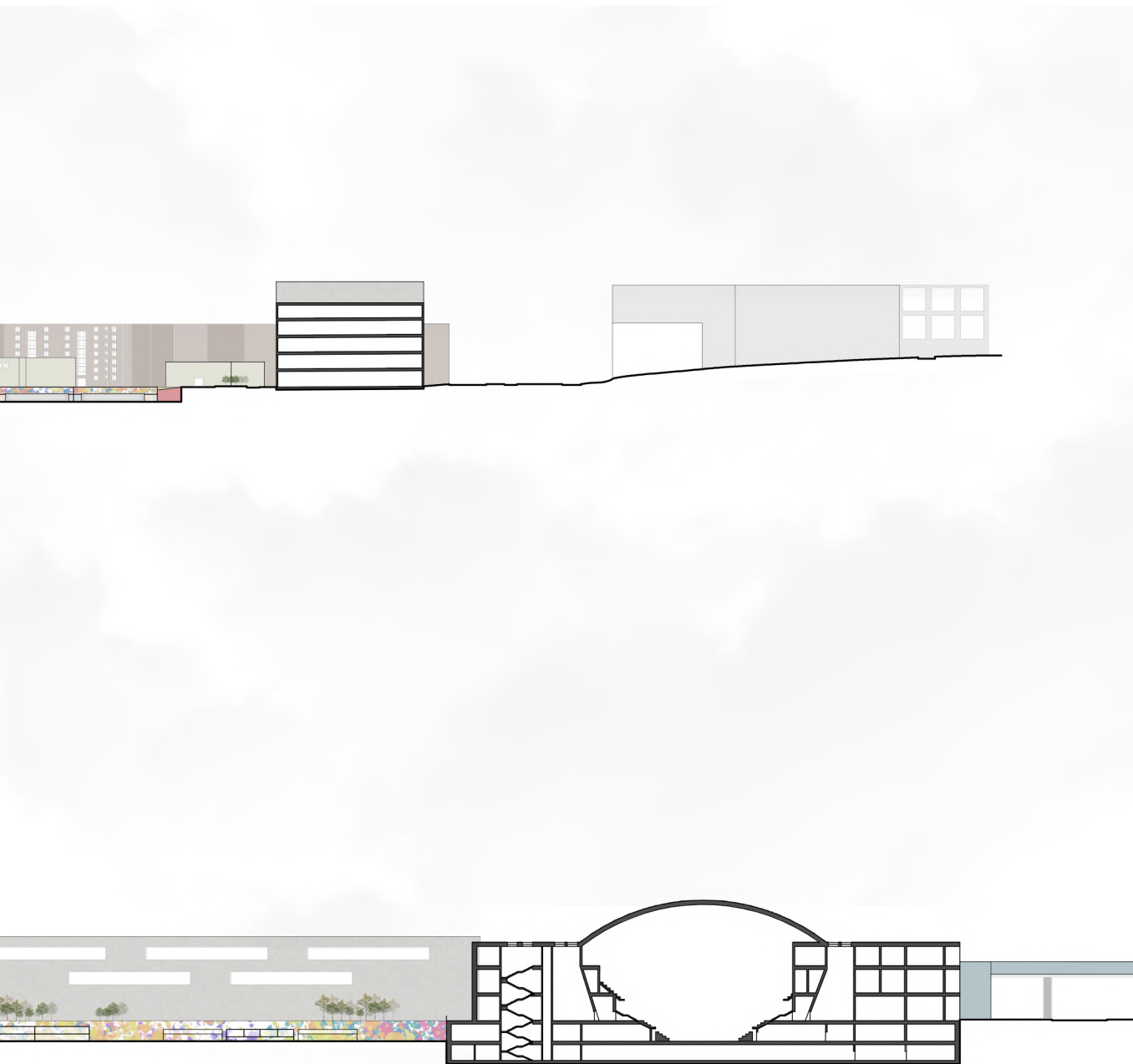
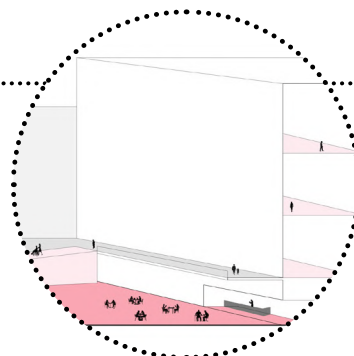


Figura II.2.21. Sezioni ambientali

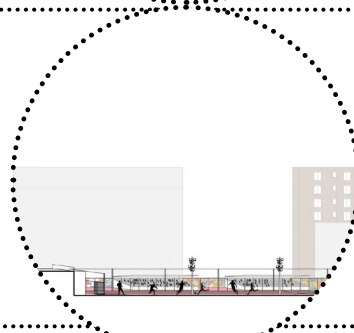
ARENA SPORTIVA

L'arena che ospiterà le Olimpiadi 2024 affaccia sull'area sportiva; è dotata di un piano seminterrato in modo da avere accesso diretto sia all'area pedonale (quota 0.0m) che all'area sportiva (quota -3,5m).



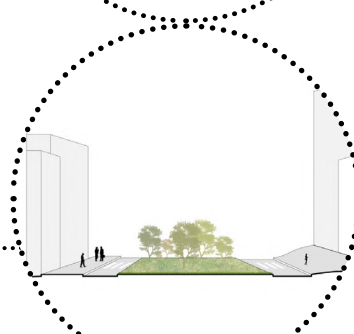
AREA SPORTIVA

I differenti colori all'interno dell'area sportiva vanno a segnare il passaggio da una disciplina sportiva all'altra. Gli spazi sono accessibili tramite rampe dotate di pendenza dolce (5%) in modo da risultare permeabili anche alle persone con mobilità ridotta.



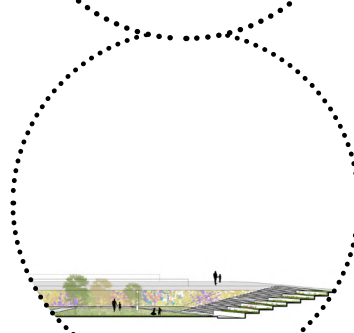
CICLABILE

La ciclabile è stata progettata in modo da attraversare l'area completamente, collegando Porte de la Chapelle e Porte d'Aubervillies situate rispettivamente a ovest e est dell'area di progetto.



PIAZZA DELL'ARENA

Gli anelli olimpici che hanno guidato il progetto ancora una volta si materializzano in una piazza antistante all'arena andando a ospitare diverse funzioni. Due cerchi diventano gradoni che permettono di scendere a quota -1,5m e diventano a loro volta dei piccoli punti di sosta collettiva; due cerchi sono dedicati a verde mentre l'ultimo cerchio si estrude a diventare un passaggio in quota che permette di attraversare la strada trafficata situata a ovest dell'area di progetto.



ORTI DIDATTICI

Nel parco sono presenti dei grandi gradoni verdi adibiti a orto didattico, in modo che tutti i bambini possano apprendere divertendosi. L'orto è utilizzato anche dall'Ecole Maternelle Charles Hermite situata a est dell'area.



Viola tricolor



Papaver rhoeas

PARCO

Il parco ospita molteplici attrezzature sportive per grandi e piccoli in modo da poter praticare sport e svagarsi all'aria aperta. Sono presenti anche dei piccoli stand alimentari in modo da poter fare delle piccole soste e riprendere le proprie attività.

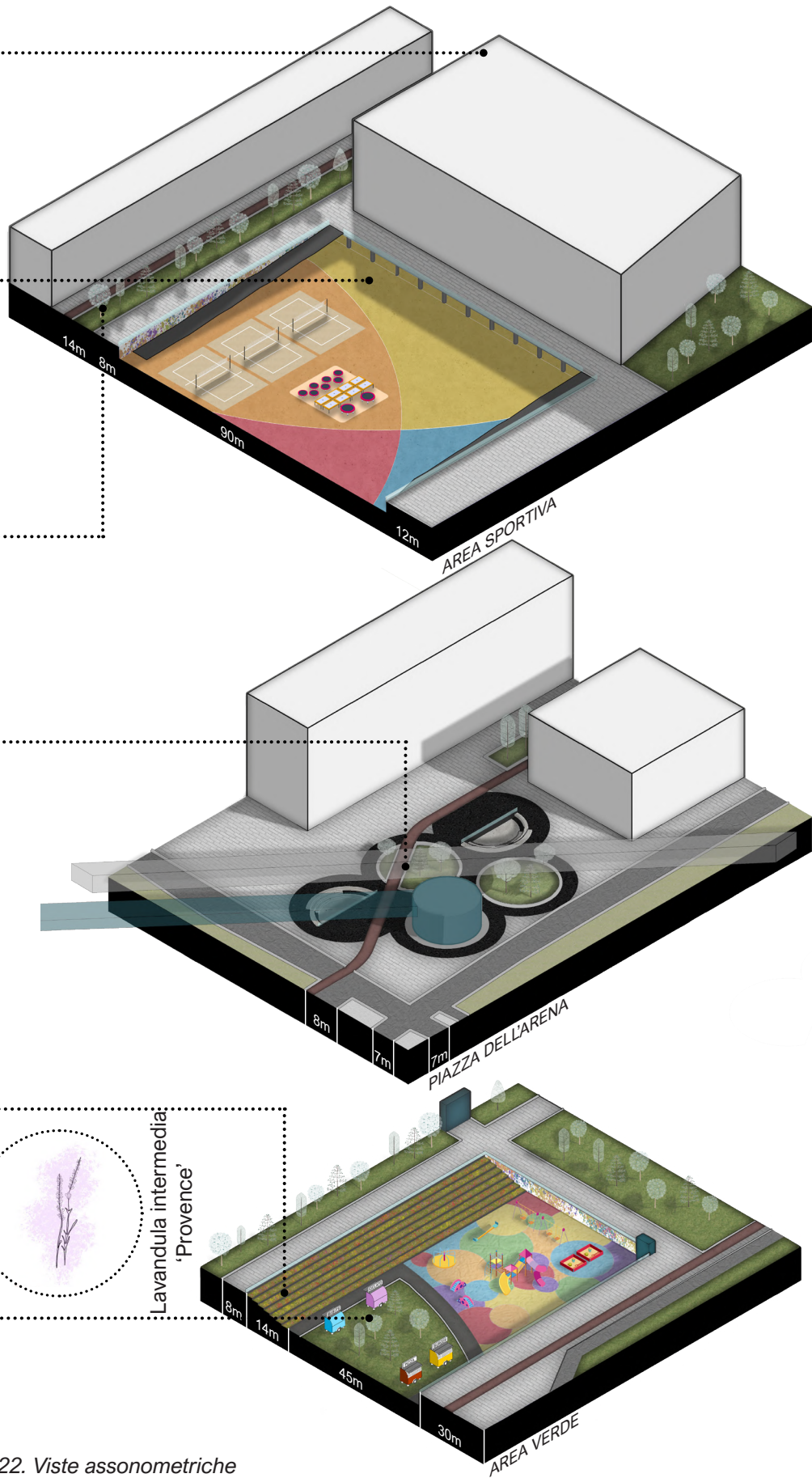
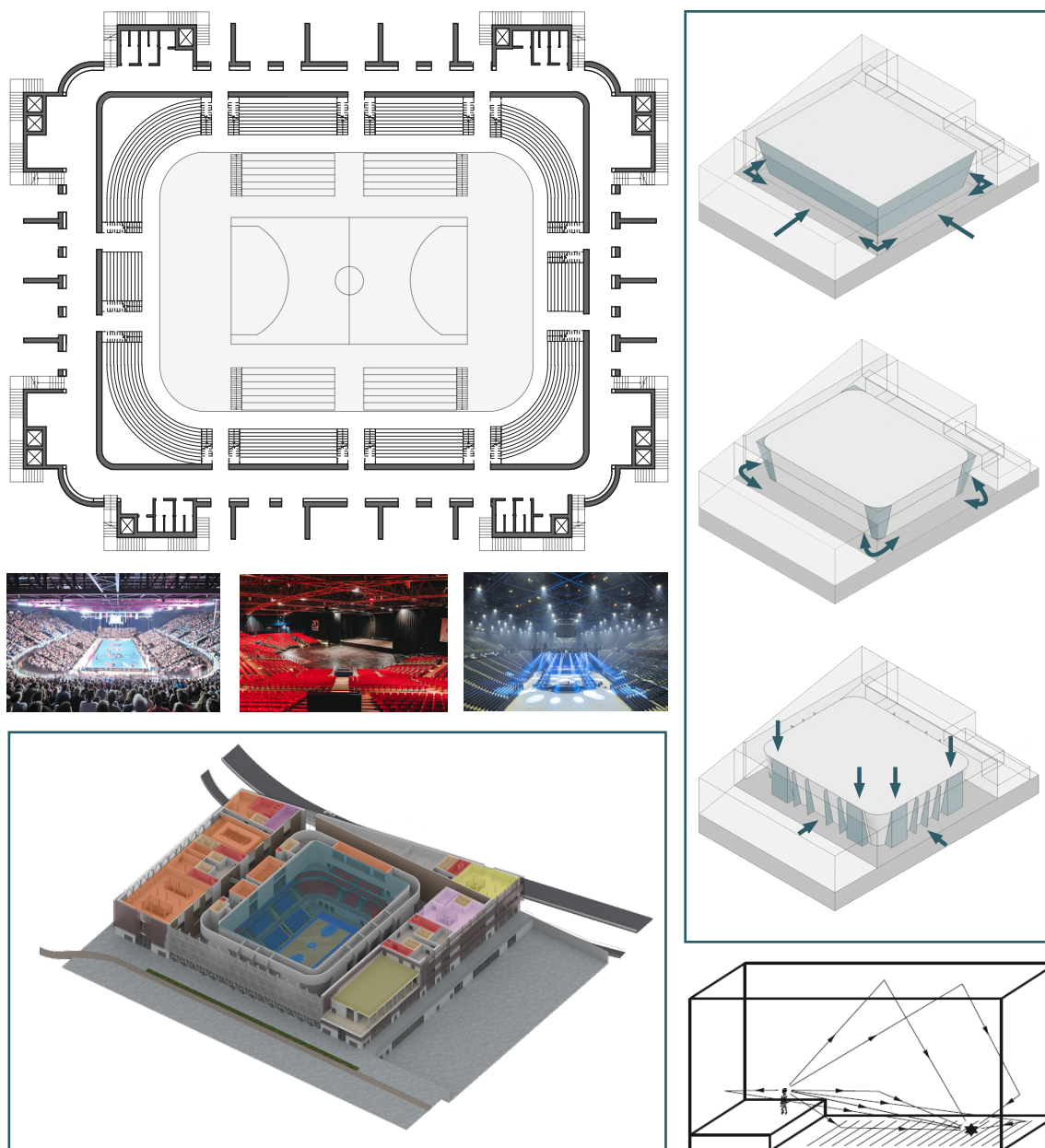


Figura II.2.22. Viste assometriche

III

ARCHITETTONICO





Premessa

La tipologia edilizia sportiva costituisce fin dal tempo degli antichi greci, con stadi e ipodromi, un tipo architettonico ben definito che nel corso del tempo è andato sempre maggiormente a svilupparsi per entrare a far parte dello svago ludico e quotidiano delle persone.

La vocazione territoriale e urbana dell'arena suggerisce l'adozione di una visione ampia durante la stesura del progetto, non più limitabile allo studio dell'aspetto prestazionale del manufatto, bensì coinvolgendo gli indicatori di matrice gestionale legati ai concetti di compatibilità, funzionalità, manutenibilità, durabilità, fruibilità, sicurezza, considerando l'intero ciclo di vita dell'infrastruttura.

01

**EDILIZIA
SPORTIVA****1.1. STORIA E NASCITA DELLE INFRASTRUTTURE SPORTIVE**

L'ippodromo e lo stadio dell'Antica Grecia erano fondamentali complementi architettonici integrati all'interno dell'impianto urbano, fino ad arrivare ai sistemi delle palestre e dei ginnasi, all'interno dei quali i Greci praticavano una costante e metodica attività atletica. La crescita degli spettatori che seguivano tali manifestazioni diveniva sempre maggiore, tanto da richiedere maggior spazio: la morfologia prevedeva due lunghe tribune rettilinee contrapposte, con il campo di gara posto al centro.

Con l'epoca romana la tipologia architettonica dello stadio diventa simbolo di potenza dell'Impero, dove veniva incrementata la ricchezza degli accorgimenti tecnico-distributivi previsti e dalle innovative e originali modalità di risoluzione dei problemi di visibilità, d'accesso e d'esodo degli spettatori.

L'avvento del Medioevo comprende lo svolgimento di attività ludiche e di giochi pubblici che prevedevano l'uso di palle o palloni: le prime infrastrutture volte a ospitare un gioco con la palla furono proprio spazi urbani. La piazza-stadio prende forma durante l'epoca illuminista, ponendosi al centro del dibattito sulla funzione educativa e didattica del gioco, in quanto luogo di trasposizione e traduzione delle attività ludiche e della socialità popolare, contrapposta al teatro, simbolo primario del loisir aristocratico. Poi dall'Ottocento, il luogo ospitante il gioco subì una radicale e decisiva mutazione che contribuì ad avviare la modernizzazione del processo di costruzione di nuove e specifiche strutture.

Le arene di ampia dimensione e gli stadi per il calcio contemporanei individuano la loro vera origine nella nascita del calcio moderno, avvenuta agli albori del XIX secolo, prevalentemente nei contesti delle regioni inglesi urbanizzate ed economicamente sviluppate, diffondendosi in ambienti cittadini, alimentati dallo stimolo economico della rivoluzione industriale. Le strutture sorte all'interno di quella che è stata definita la "prima generazione" di stadi moderni, essendo fondati sui principi della cultura industriale, sono di natura multifunzionale, riconducibile alla compresenza di molteplici pratiche sportive o polifunzionale con caratteri di monumentalità, veri e propri parchi dello sport.

Tra il 1880 e il 1890, il miglioramento del tenore di vita della classe dei lavoratori inglesi, congiuntamente all'introduzione del concetto di tempo libero, avviò il processo di radicamento dello sport nel profondo dell'immaginario collettivo. In Europa, in quel periodo, la concezione generale dello stadio e dell'architettura per lo sport risultavano ancora quelle di un luogo ispirato all'arena napoleonica, realizzate per manifestazioni civili e patriottiche.

In tutta la Gran Bretagna sorgono design altamente visibili e iconici, il cui effetto ispiratore va ben oltre le persone che assistono alle partite. Da quel momento in poi l'eccellenza nella progettazione diviene un catalizzatore per la rigenerazione urbana e contribuisce a ispirare l'orgoglio civico; la resistenza al cambiamento e la paura della perdita dei vecchi impianti fa spazio all'innovazione e al rinnovo. Questa sorta di rivoluzione negli impianti sportivi pone al primo posto il rapporto qualità-prezzo, come in ogni settore dell'industria edilizia, ma negli ambienti sportivi britannici la modernità non è più temuta ma accolta e gli stadi saranno sempre più spesso il fulcro di tutta una serie di sviluppi associati al tempo libero, al commercio e persino ai media.

<< Se il XIX secolo può essere definito come l'età delle ferrovie, perché non lo sport e il tempo libero nel ventunesimo? >>

Simon Inglis, Stadium Engineering

Lo scenario mondiale, con le Olimpiadi romane, giapponesi e messicane degli anni Sessanta e lo sviluppo economico del decennio successivo, favorirono l'adozione e il conseguente sviluppo delle grandi strutture in cemento armato: alle opere infrastrutturali si affiancò la costruzione di numerosi impianti sportivi ed edifici per lo sport e spettacolo, caratterizzati da coperture di grandi luci, rafforzando e sancendo l'interazione magica tra architettura e ingegneria.

La trasformazione dei "teatri per lo sport", avvenuta dall'inizio degli anni Novanta, rimanda a radici di natura sociale: se fino a quel momento lo stadio era frequentato quasi esclusivamente da tifosi, che vi si recavano per assistere allo svolgimento della partita, oggi esso rappresenta un sistema di funzioni e relazioni particolarmente complesse e articolate che relegano sullo sfondo il momento sportivo e agonistico, privilegiando un'interpretazione che favorisce la riacquisizione, da parte dello stadio, del suo significato di "edificio", di elemento cioè complesso atto a ospitare attività strettamente connesse alle esigenze della società moderna.



Figura III.1.1. Stadio greco di Mileto
Fonte immagine: sapere.it



Figura III.1.2. Olimpiadi di Roma 1960
Fonte immagine: repubblica.it

1.2. IMPIANTI ODIERNI

Le strutture, per orari e modalità d'appropriazione, sono divenute costantemente accessibili, incorporando quelle attività che ne consentono il funzionamento, favorendo una più intensa opera di socializzazione e un corretto utilizzo del tempo libero che la società attuale ha ottenuto e tende a valorizzare. Le tematiche della sicurezza, della mobilità sostenibile, della gestione consapevole delle risorse, dei processi di marketing territoriale che possono derivare da tali forme di sviluppo urbano di queste infrastrutture culturali, sono affiancate da un approccio imprenditoriale influenzato da una pressante ricerca di opportunità economiche.

Il complesso sportivo odierno mostra la sua duplice natura, anche dal punto di vista progettuale: esogeno, in termini di relazione con l'esterno, i suoi collegamenti, l'accessibilità, l'integrazione all'esistente, i valori d'impatto ambientale; endogeno, negli aspetti di natura architettonica, strutturale, funzionale, distributiva, impiantistica dell'evento progettuale e costruttivo.

Si tratta di un oggetto architettonico che ha come cardine fondamentale l'essere caratterizzato da un elevato grado di flessibilità rispetto a tutte le altre tipologie edilizie: l'idea che ricade su arene e stadi non è solamente quella di teatro dell'evento sportivo, ma concerne anche la possibilità di poter essere riconvertito in uno spazio e funzione differente dalla sua destinazione d'uso principale, che sia questa una trasformazione sequenziale o simultanea. La concezione prevede quindi un elemento fortemente dinamico che sappia relazionarsi con la molteplicità di funzioni e destinazioni al suo interno; inoltre, questo deve poter restituire l'identità del luogo a cui appartiene, come fosse estensione dello spazio urbano pubblico, a misura d'uomo.

Sono due i principali lineamenti riconoscibili nella recente storia dell'architettura dello stadio moderno: da un lato, la sfida della grande opera d'ingegneria, esplicandosi tramite soluzioni costruttive e contestuali dall'elevato valore tecnologico, tendente a confrontarsi con il futuro e a generare una nuova memoria storica. Dall'altro, una ricerca dal sapore maggiormente localistico che tenta di rapportarsi con un mondo produttivo e un linguaggio radicati al luogo d'appartenenza, pur esprimendo le sue potenzialità di creare un sistema attraverso reti e relazioni alla grande scala alla ricerca di nuove centralità.

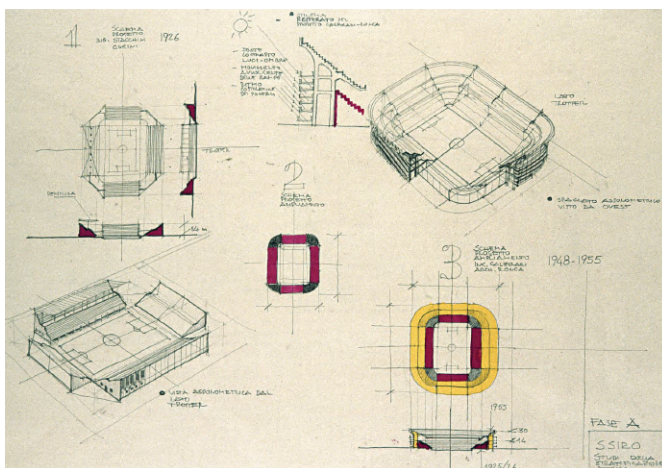


Figura III.1.3. Sketch di studio dello Stadio San Siro
Fonte immagine: Ragazzi & Partners

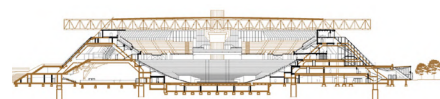


Figura III.1.4. Progetto Accor Arena
Fonte immagine: DVVD Engineers



Figura III.1.5. Progetto Accor Arena
Fonte immagine: DVVD Engineers

1.2.1. CONFRONTO FRA I PARADIGMI EUROPEI

Il termine infrastruttura rimanda al termine di integrazione, completamento di un sistema, che se affiancata alla parola sport implica un rinnovato approccio e visione del ruolo delle attrezzature sportive nella società e loro collocazione nel tessuto urbano consolidato. In questo paragrafo vengono analizzate arene europee e contestualizzate all'interno della città d'appartenenza, al fine di estrapolarne i caratteri salienti e scelte progettuali innovative, da applicare nella costruzione della nuova arena polifunzionale.

Nella tradizione europea ci sono differenti modi di rapportarsi con le infrastrutture sportive: alcuni impianti sportivi sono parzialmente interrati, sfruttando il rilievo del terreno; oppure l'edificio viene coperto da un terrapieno o da un involucro di facciate di edifici terziari o abitazioni. Ulteriore tendenza è quella dell'edificio iconico, che emerge rispetto agli edifici che lo circondano, diventando un nuovo polo attrattivo.

In Francia, è caratteristica la tendenza di una serie di arene indoor chiamate "Zénith". Uno Zénith è un teatro che può ospitare concerti, spettacoli di varietà, opere teatrali, musical e recital di danza. Tutti questi luoghi sono caratterizzati da un design interno simile a quello di un anfiteatro coperto che può ospitare almeno 3.000 spettatori.

All'interno dei modelli europei, il contesto italiano invece, è formato da un diffuso e capillare sistema di luoghi destinati alla pratica e attività sportiva il cui valore assume, al contempo, un'oggettiva rilevanza e un significativo impegno connesso al rispetto memoriale dei luoghi, relazionandosi con un vasto patrimonio di beni storico-artistici.



Figura III.1.6. Accor Arena
Fonte immagine: paris.fr

PALAIS OMNISPORT PARIS-BERCY

Il Palais Omnisports de Paris-Bercy (POPB), la più grande struttura per concerti, spettacoli ed eventi sportivi di tutta la Francia, è stata inaugurata nel febbraio 1984, nel XII arrondissement di Parigi. Progettato dal team di architetti Andrault, Parat, Prouvé e Guvan, è diventato rapidamente un luogo chiave della vita culturale di Parigi. La sua struttura in reticolare metallica blu, i suoi prati inclinati e il suo design piramidale danno una forte impronta al panorama della città.

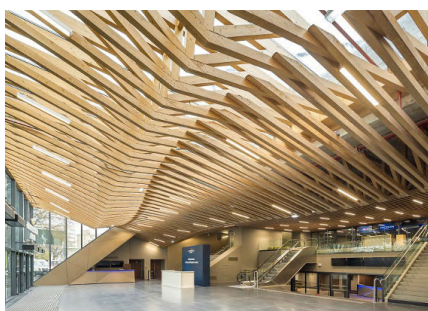


Figura III.1.7. Vista interna dell'Accor Arena
Fonte immagine: parisinfo.com

I lavori di rinnovamento dello studio DVVD sull'arena prevedevano la ristrutturazione della pista di pattinaggio, la ricostruzione della sala concerti, l'allestimento di sale di accoglienza, spogliatoi, spazi pubblici, impianti sportivi, sale stampa e strutture per la produzione di spettacoli, la riorganizzazione dei locali tecnici e il trattamento acustico e termico dell'involucro esterno dell'edificio. Finiscono così i lavori nel 2015 e l'impianto ha anche cambiato nome: il Palais Omnisports de Paris-Bercy ha lasciato il posto all'AccorHotels Arena.

All'interno, i nuovi volumi di accoglienza in legno, struttura metallica e vetro offrono luoghi di incontro e trasparenze negli ambienti. La capienza della sala è stata aumentata (da 17.000 a 23.000 posti) tramite tribune posizionate a sbalzo sulle strutture esistenti senza modificarle. Per la comodità degli utenti, la visibilità è stata migliorata grazie alla riprogettazione della geometria dell'arena e dei posti a sedere, l'illuminazione e l'acustica sono state analizzate in dettaglio, con la scelta di materiali ad alte prestazioni, tra cui le nuove sedute costituite da un guscio assorbente che mantiene una qualità sonora costante, anche quando non sono occupate. Per passare da una all'altra delle trenta configurazioni possibili, in precedenza era necessario rimuovere le sedute aggiuntive, mentre ora le tribune retrattili hanno accelerato questo processo, garantendo una modularità ottimale.

ZENITH ARENA, PARIGI

Lo Zénith è un'arena per concerti situata nel 19° arrondissement di Parigi, nel Parc de la Villette. Costruito nel 1984, dagli architetti Philippe Chaix e Jean-Paul Morel, che hanno inaugurato qui un nuovo tipo di sala da concerto chiamata "Zénith".

Questa nuova tipologia di sala da concerto verrà successivamente riprodotta in diversi comuni di provincia secondo lo stesso principio costruttivo: la sua realizzazione prevede una struttura metallica rapida da montare e smontare. La sala è destinata ad accogliere un pubblico numeroso (6.000 posti) e deve rispettare i vincoli sonori della musica amplificata. La struttura in metallo offre una campata di 70 m e supporta una pelle in poliestere. Questo design evita la presenza di pali e offre una perfetta visibilità per il pubblico.

SUD DE FRANCE ARENA, MONTPELLIER

La Sud de France Arena di Montpellier è oggi il secondo spazio polifunzionale più grande di Francia, progettato dallo studio A + architecture di Montpellier, dopo il Palais Omnisport di Parigi. Si presenta un edificio a parallelepipedo con forti codici cromatici, contraddistinto all'ingresso da una tettoia sulla facciata principale. Questa sezione inclinata sul fronte dell'edificio spezza la linearità architettonica coprendo l'atrio e il piazzale del complesso.

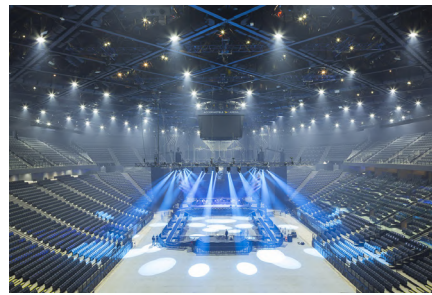


Figura III.1.8. Sala concerti Accor Arena

Fonte immagine: Photographer S.Grazia



Figura III.1.9. Zenith Arena

Fonte immagine: A. Marchi Photographer



Figura III.1.10. Sala interna Zenith Arena

Fonte immagine: parisinfo.com



Figura III.1.11. Sud de France Arena

Fonte immagine: parisinfo.com



Figura III.1.12. Ingresso Sud de France Arena
Fonte immagine: aplus-architecture.com



Figura III.1.13. Sala interna Sud de France Arena
Fonte immagine: aplus-architecture.com



Figura III.1.14. Zenith de Lille
Fonte immagine: L. Munch
Photographer

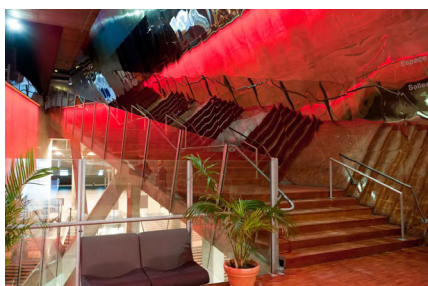


Figura III.1.15. Scale interne Zenith de Lille
Fonte immagine: L. Munch
Photographer

Basato sul principio di una variazione di viola che ricopre la struttura metallica, i sedili e alcune pareti, il colore viene visualizzato in tutte le sue sfumature sotto la tettoia d'ingresso. Chiamato "IMAGEO", questo processo unico e innovativo, proposto dal progettista di soluzioni costruttive in acciaio ARVAL di Arcelor Mittal, ha permesso di trasferire le macrofotografie di un' ametista sulle lamelle d'acciaio numerate che compongono la pensilina. La facciata, progettata per giocare e vibrare con la luce, è rivestita da un insieme di cassette metalliche di varie dimensioni e colori. Le facciate ovest ed est dell'edificio sono rivestite con doghe in acciaio chevron (doghe ST di ARVAL) di diverse larghezze, lunghezze, spessori e colori, che danno rilievo all'intero edificio. Per coprire le aperture delle facciate longitudinali, A + Architecture ha immaginato un concetto di "scala": lamiere profilate e perforate (ARVAL) in accordo con i desideri architettonici avvolgono le falegnamerie e permettono di creare un insieme di tende metalliche visibili dall'interno e dall'esterno dell'arena.

ZENITH DE LILLE

La Zénith de Lille è un'arena coperta polivalente di Lille, in Francia. Progettata dall'architetto olandese Rem Koolhaas con Cecil Balmond e inaugurata nel 1994, fa parte del complesso culturale Congrexpo che comprende altri due spazi: un centro congressi e sale espositive. Rem Koolhaas si è circondato di Renz van Luxemburg per gli studi acustici, di dUCKS scéno per la scenografia e del Gruppo Arup per gli studi ingegneristici.

Lo Zénith può ospitare più di 5.000 persone sedute e circa 6.000 sedute grazie a gradinate rimovibili. Il complesso è costruito in modo trimodale, il che lo rende estremamente versatile e molto estetico. Questi spazi comunicanti formano più di 45.000 m² che possono essere modulati.

L'edificio scorre con le curve sottili e la sala d'ingresso principale ha un soffitto in calcestruzzo fortemente inclinato. Nel soffitto della sala espositiva, sottili doghe di legno si inarcano al centro. La scala per il secondo piano sale a zig-zag, mentre la parete laterale in acciaio lucido si inclina verso l'interno, creando un'immagine speculare e traballante della scala.

ZENITH MUSIC HALL, STRASBURGO

Zenith Music Hall è un teatro progettato dagli architetti italiani Massimiliano & Doriana Fuksas, utilizzato come arena sportiva al coperto e una sala da concerto situato a Eckbolsheim, a ovest di Strasburgo nella Francia orientale e inaugurato il 3 gennaio 2008. Può ospitare fino a 12.000 spettatori.

Il concetto di progettazione si basa su un'organizzazione modulare e ben bilanciata dei diversi elementi: una buona visuale per tutti gli spettatori, un'acustica ottimale e una gestione ottimizzata dei costi, già affrontati durante la fase di ideazione del progetto. Stratificando e ruotando la struttura metallica ellissoidale della facciata, il progetto assume un carattere molto dinamico. Questo aspetto è sottolineato dalla membrana tessile traslucida, che ricopre la struttura in acciaio e crea magnifici effetti di luce. Le membrane arancioni ricoprono anche il volume della sala da musica stessa.

Si arriva poi al cuore dell'edificio: uno spazio totalmente chiuso e protetto, che crea una speciale atmosfera teatrale. Le proiezioni sul rivestimento esterno creano effetti ludici e trasformano la facciata in un enorme cartellone pubblicitario. L'esperienza interna viene trasmessa all'esterno attraverso la pelle trasparente: l'intero edificio diventa una "scultura di luce".

PALAITALIA, SANTA GIULIA

Esito della collaborazione tra Arup e David Chipperfield Architects Berlin, l'impianto da 16.000 posti (12.000 a sedere e 4.000 in piedi) sarà prima di tutto utilizzato per i Giochi Olimpici Invernali che prenderanno il via il 6 febbraio 2026 a Milano. Destinata a essere successivamente impiegata per grandi concerti, eventi sportivi e festival, la struttura verrà realizzata nel quartiere Santa Giulia, nella zona sud-est della città, al centro di un intervento di riqualificazione basato su un masterplan elaborato Foster + Partner.

Dichiaratamente ispirata all'architettura archetipa degli anfiteatri, l'arena ne ricalca la forma ellittica. Il suo volume si erge al di sopra di un ampio podio rivestito con materiali minerali, che all'interno celerà parte dei parcheggi previsti dal piano. Al



Figura III.1.16. Zenith Music Hall
Fonte immagine: aa13.fr

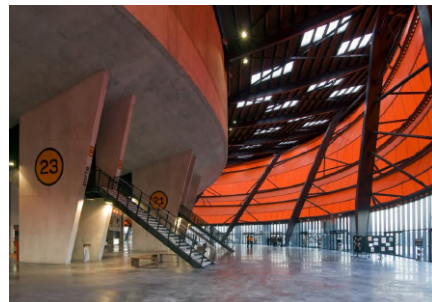


Figura III.1.17. Ingresso Zenith Music Hall
Fonte immagine: aa13.fr

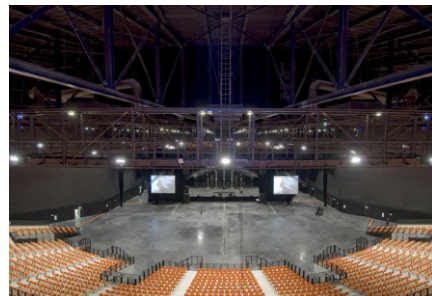


Figura III.1.18. Sala Zenith Music Hall
Fonte immagine: aa13.fr



Figura III.1.19. Render esterno Palaitalia
Fonte immagine: D. Chipperfield Architects

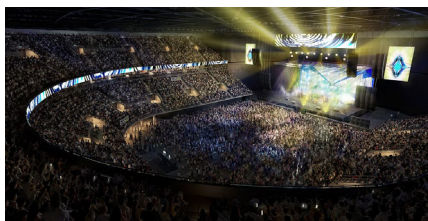


Figura III.1.20. Sala interna Palaltalia
Fonte immagine: D. Chipperfield Architects



Figura III.1.21. Render esterno Cathedral Stadium
Fonte immagine: popolous.com



Figura III.1.22. Render campo da gioco Cathedral Stadium
Fonte immagine: popolous.com

di sopra, invece, a scandire l'edificio saranno tre anelli di altezza crescente con finitura in tubi di alluminio, intervallati da vetrate. Al crepuscolo le "maxi fasce metalliche" dell'arena diverranno un attrattore luminoso e multimediale, grazie all'accensione di strisce di illuminazione led.

Gli spazi intermedi tra gli anelli sono invece collegati da leggere fasce di vetro trasparente, verso la piazza, e si proiettano irregolarmente, dando all'edificio un peculiare volume dinamico.

THE CATHEDRAL STADIUM, MILANO

Il nuovo stadio del Duomo di Milano, realizzato da Populous, sostituisce lo stadio Giuseppe Meazza, noto anche come San Siro; lo stadio fa parte di un masterplan per rivitalizzare un'area urbana critica di Milano in un quartiere dedicato allo sport e al tempo libero. L'edificio costituisce il fulcro del nuovo quartiere di San Siro, che porterà i club, i tifosi e la comunità verso una maggiore accessibilità della zona.

Lo stadio rettangolare si ispira agli edifici simbolo della città, il Duomo di Milano e la Galleria Vittorio Emanuele. Il nuovo impianto da 60.000 posti sarà avvolto da uno spazio simile a un foyer racchiuso da una facciata in vetro che si ispira alla Galleria Vittorio Emanuele. La struttura sarà caratterizzata da soluzioni per il controllo del rumore e da misure di sicurezza esemplari, offrendo alla città una nuova area verde di oltre 55.000 mq.

Le pinne verticali che circondano la forma, si innalzeranno dallo stadio per sostenere una parete di vetro che racchiude un'area denominata galleria diurna. Allo stesso tempo, il catino interno dello stadio è stato concepito per essere il "più intimo d'Europa", portando gli spettatori il più vicino possibile al campo di gioco.

02

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

2.1. INDICAZIONI DEL COMITATO OLIMPICO NAZIONALE

2.1.1. ORGANIZZAZIONE DEGLI SPAZI

Il Comitato Olimpico Nazionale (IOC) nel 2005 ha pubblicato un documento, denominato *Technical Manual on Venues - Design Standards for Competition Venues*, in cui sono contenute le linee guida e suggerimenti da prendere in considerazione durante la progettazione di un complesso volto ad ospitare delle discipline olimpiche.

Tra le varie linee guida si elencano quelle di maggiore rilevanza:

- disposizione dell'area di gioco;
- disposizione Front of House;
- disposizione Back of house;
- disposizione dell'arena.

Si elencano di seguito alcune definizioni utili per comprendere gli schemi organizzativi sopracitati e rappresentati nella pagina successiva.

- **Public domain:** l'area esterna che circonda il campo di gioco.
- **Buffer zone:** area di servizio che circonda il perimetro di gioco, le sue dimensioni solitamente sono stabilite dal personale della sicurezza. La sua presenza permette di gestire con successo l'area di gioco durante i Giochi Olimpici. Solo il personale autorizzato è in grado di accedere alla Buffer zone.
- **Secure perimeter:** perimetro dell'area di gioco stabilito dall'OCOG (Organizing Committee for the Olympic Games) nel quale è possibile accedere solo se muniti di un permesso.
- **Front of House (FOH) :** l'area dove giungono gli spettatori dopo essere passati attraverso la hall d'ingresso e lo spazio dei controlli di sicurezza. Comprende tre sezioni principali: l'area che porta all'arena di gioco, gli spazi di servizio per gli spettatori e gli spalti.
- **Back of House (BOH):** tutti gli spazi di supporto per l'evento. Non è accessibile al pubblico in quanto per entrare è necessario un permesso.

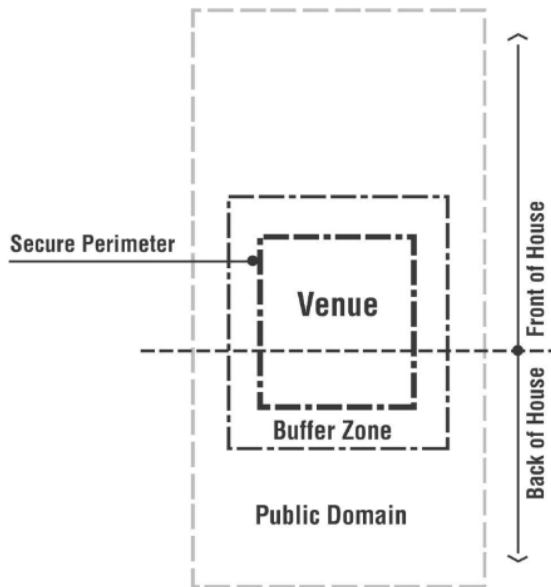


Figura III.2.1. Venue area concept
Fonte immagine: Technical Manual on Venues

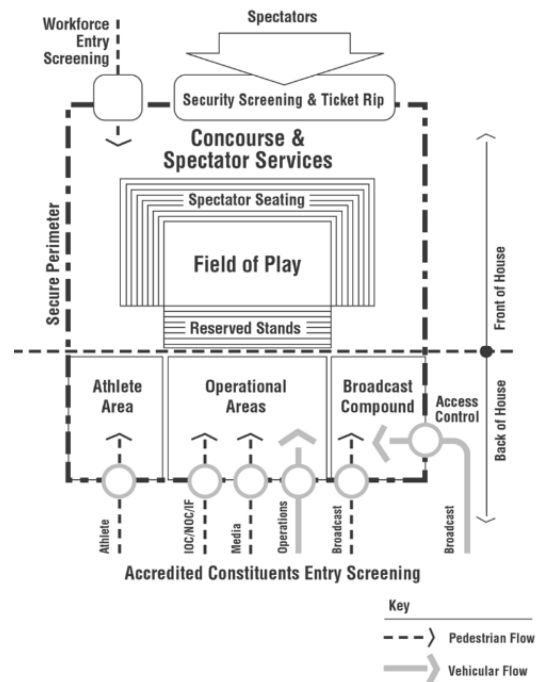


Figura III.2.2. Venue concept
Fonte immagine: Technical Manual on Venues

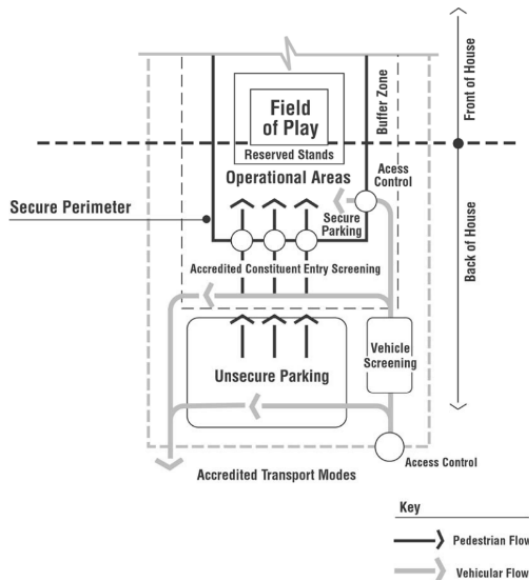


Figura III.2.3. Back of House concept
Fonte immagine: Technical Manual on Venues

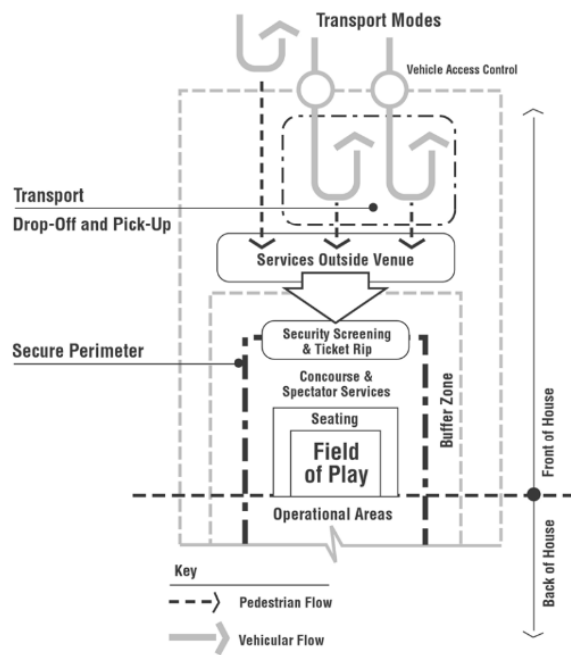


Figura III.2.4. Front of House concept
Fonte immagine: Technical Manual on Venues

Gli schemi raffigurati in questa pagina sono stati utili per comprendere i flussi che si creano all'interno dell'arena. Infatti, durante la pianificazione sono molti i fattori che devono essere presi in considerazione, tra cui: disposizione dei vari spazi, ingressi dedicati in base alla tipologia di fruitori, tipi e livelli di sicurezza, flussi di persone da e verso i punti di ingresso e di uscita ecc.

2.1.2. DISTANZE DA PERCORRERE

È importante inoltre valutare le distanze che i vari fruitori dell'arena devono percorrere prima di raggiungere la destinazione finale. Bisogna garantire dei buoni livelli di comfort tenendo conto delle specificità di ogni tipologia di utente.

Tenere conto di questi aspetti durante la progettazione permette di evitare la congestione tra i vari utenti, garantire un maggiore livello di sicurezza e facilita l'ingresso all'area.

Si riportano di seguito i valori di distanze raccomandati dal Technical Manual on Venues suddivise per tipologia di utilizzatore:

Tipologia di utente	Distanza a piedi
Atleti	Si raccomanda una distanza massima di 30 metri tra il punto di drop-off e gli spazi di entrata e 100 metri dall'area atleti.
Rappresentanti di IOC	Si raccomanda una distanza massima di 50 metri tra il punto di drop-off e gli spazi di entrata e 50 metri dall'area dedicata al IOC.
Broadcasters	Si raccomanda una distanza massima di 50 metri tra il punto di drop-off e gli spazi di entrata e 50 metri dall'area broadcast.
Stampa	Si raccomanda una distanza massima di 50 metri tra il punto di drop-off e gli spazi di entrata e 50 metri dal venue media centre.
Spettatori/sponsor	Si raccomanda una distanza massima di 1200 metri tra il punto di drop-off e gli spazi di entrata e 8000 metri dall'area dedicata alle sedute degli spettatori.
Personale di lavoro	Si raccomanda una distanza massima di 800 metri tra il punto di drop-off e gli spazi di entrata e 800 metri dall'area di lavoro.

Figura III.2.5. Distanze a piedi per i vari utilizzatori dell'impianto sportivo

2.1.3. INFORMAZIONI SULLE SEDUTE

Per quanto riguarda le informazioni sulle sedute, il Technical Manual on Venues fornisce dei suggerimenti al fine di garantire una progettazione ottimale, in particolare:

- i posti a sedere per gli spettatori possono variare da sedili con schienale, sedili a panca e/o posti a sedere su erba;
- la tipologia di seduta varia a seconda di gruppi specifici (ad es. atleti, spettatore...);
- le sedute dovrebbero offrire comfort per un periodo da 2 a 4 ore;
- i braccioli non sono necessari.
- le sedute devono essere utilizzabili da ogni tipo di utente, quindi devono prevedere spazi per gambe e di passaggio di misure ragionevoli.

Dimensionamento sedute	
Larghezza minima	46 centimetri
Profondità minima	Minimo 80 centimetri

Figura III.2.6. Dimensioni raccomandate per le sedute dell'impianto sportivo

2.2. SPAZI RISERVATI AGLI SPETTATORI

2.2.1. CALCOLO POSTI NEL PARTERRE

Di seguito si riporta il calcolo utilizzato per effettuare una stima del numero di posti in piedi e di sedute disponibili all'interno del parterre dell'arena progettata. Per tale procedura si fa riferimento al Decreto Ministeriale 18 marzo 1996 concernente “Norme di sicurezza per la costruzione e l'esercizio degli impianti sportivi” coordinato con le modifiche e le integrazioni introdotte dal Decreto Ministeriale 6 giugno 2005.

Il parterre viene studiato in due configurazioni, ovvero con e senza la presenza di tribune telescopiche che riflettono rispettivamente il caso di un di concerto o evento sportivo.

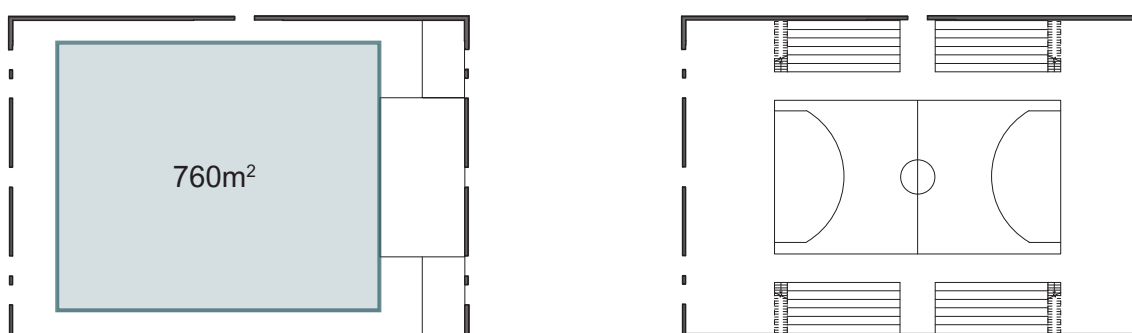


Figura III.2.7. Schema parterre per concerto (a sinistra) e per evento sportivo (a destra)

POSTI IN PIEDI

In caso di concerto le tribune telescopiche vengono ritirate e l'affollamento del parterre aumenta.

Il numero dei posti in piedi si calcola in ragione di 35 spettatori ogni 10 metri quadrati di superficie all'uopo destinata.

Per il calcolo si considera una superficie di 760m² ottenuti togliendo dai 1260m² iniziali del parterre lo spazio per un palco di 8x15m, backstage e i vari spazi di circolazione. Questo porta ad una stima di capienza di 2660 persone in piedi nel parterre.

POSTI A SEDERE

Nel caso di evento sportivo bisogna considerare la presenza di tribune telescopiche e l'assenza di spettatori in piedi nel parterre.

Il decreto Ministeriale 18 marzo 1996 riporta due metodologie per il calcolo: la prima fa riferimento alla norma UNI 9931, mentre il secondo metodo riportato effettua la stima dividendo lo sviluppo lineare in metri dei gradoni per 0,48.

Per praticità si è scelto di seguire la seconda opzione

m lineari singolo gradone	Fattore di divisione	Numero posti a fila	Numero di file	Posti totali singola tribuna	Numero di tribune	Posti totali tribune
10,6	0,48	22	6	132	4	528

Figura III.2.8. Calcoli posti a sedere tribune telescopiche

Dove il numero dei posti a fila è stato ottenuto dividendo il valore di metri lineari di ogni fila per il fattore di divisione di 0,48; mentre i posti totali del singolo settore sono stati ottenuti moltiplicando il numero dei posti a fila per il numero di file.

2.2.2. CALCOLO POSTI NEGLI ANELLI

Sempre dal Decreto Ministeriale 18 marzo 1996 si calcola il numero di sedute negli anelli dell'arena con la stessa metodologia adottata per il calcolo delle sedute delle tribune telescopiche.

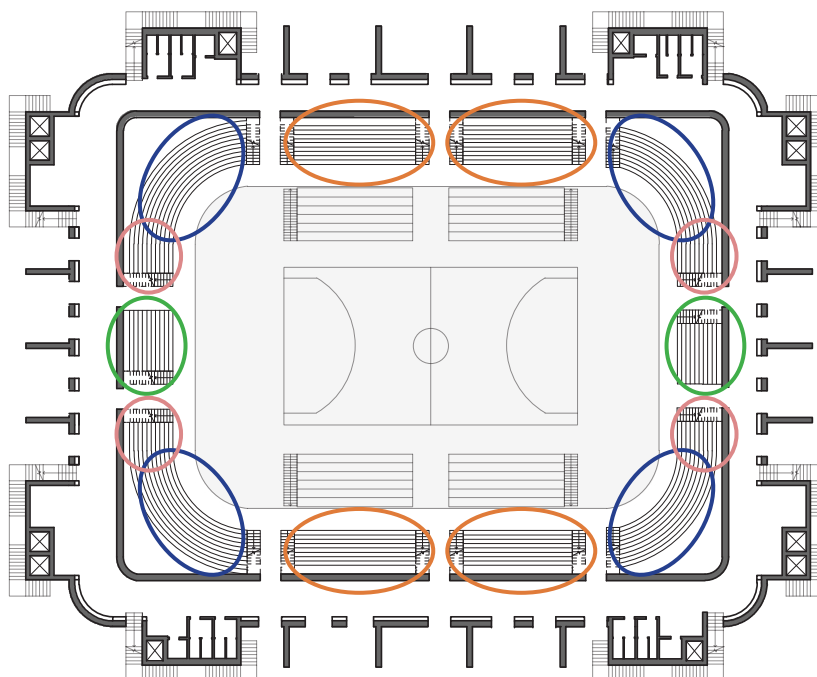


Figura III.2.9. Schema primo anello

Colore	m lineari singolo gradone	Fattore di divisione	Numero posti a fila	Numero di file	Posti totali singolo settore
—	9,7	0,48	20	4	80
—	5,56	0,48	11	4	44
—	14,7 (media)	0,48	30	4	120
—	3	0,48	6	4	24

Figura III.2.10. Calcoli posti a sedere per settore primo anello

Colore	Posti totali singolo settore	Numero di settori	Posti totali per colore	Posti totali 1° anello
—	80	4	320	984
—	44	2	88	
—	120	4	480	
—	24	4	96	

Figura III.2.11. Calcoli posti a sedere totali primo anello

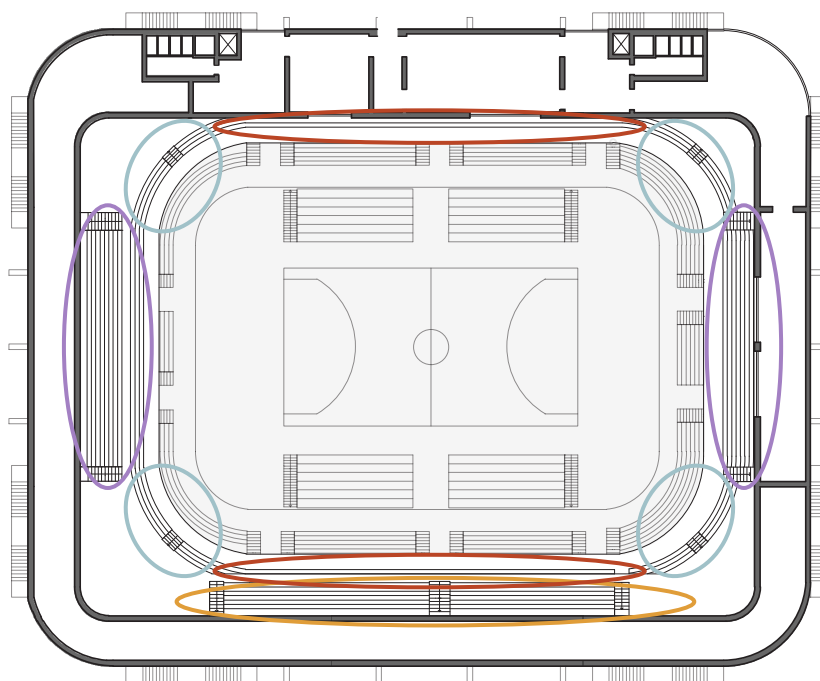


Figura III.2.12. Schema secondo anello

Colore	m lineari singolo gradone	Fattore di divisione	Numero posti a fila	Numero di file	Posti totali singolo settore
—	34	0,48	70	1	70
—	21	0,48	43	3	129
—	15	0,48	31	3	93
—	15 (media)	0,48	31	2	62

Figura III.2.13. Calcoli posti a sedere per settore secondo anello

Colore	Posti totali singolo settore	Numero di settori	Posti totali per colore	Posti totali 2° anello
—	70	2	140	832
—	129	2	258	
—	93	2	186	
—	62	4	248	

Figura III.2.14. Calcoli posti a sedere totali secondo anello

Dati i calcoli sopra rappresentati il numero totale dei posti negli anelli è pari a:

- 984 posti per il primo anello;
- 832 posti per il secondo anello.

Per un totale di 1816 posti a sedere totali.

Sommando posti a sedere e parterre in configurazione da concerto si raggiunge un affollamento di 4476 persone totali; mentre nel caso di evento sportivo sommando persone sedute degli anelli e nel parterre si raggiungere un valore di 2344 persone.

2.2.3. PROGETTAZIONE SPALTI

La normativa di riferimento utilizzata per la progettazione degli spalti è il documento Norme CONI per l'impiantistica sportiva.

La regolamentazione ordina che le zone di sosta e di passaggio permettano la facile movimentazione del pubblico, compresi gli utenti a mobilità ridotta. Per ogni localizzazione all'interno delle tribune dovrà risultare verificata in base alla seguente formula:

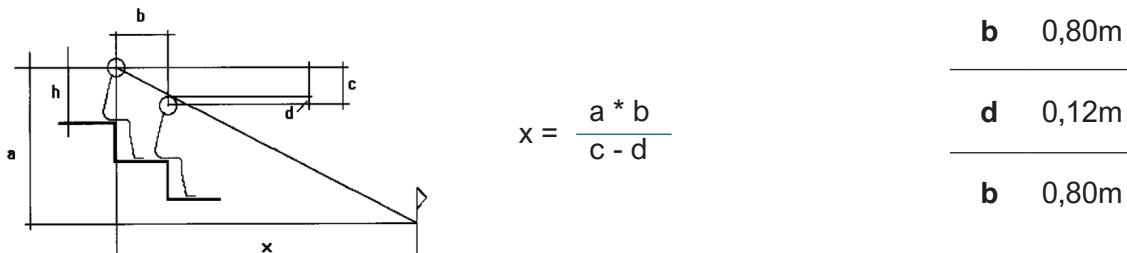


Figura III.2.15. Schema grafico a fini rappresentativi per il calcolo delle tribune
Fonte immagine: Norme CONI per l'impiantistica sportiva

dove:

- x pari alla distanza dell'ultimo spettatore dal limite del campo da gioco dell'arena;
- h pari all'altezza della seduta, corrispondente ad un valore minimo di 0,80m;
- c pari alla distanza verticale fra le linee visuali di uno spettatore e di quello seduto dietro di lui;
- a pari all'altezza dello spalto considerato;
- b pari alla profondità delle sedute delle tribune;
- d pari a pari alla distanza verticale fra l'occhio dello spettatore e la linea di visuale dello spettatore seduto dietro di lui. Il valore preferibile è di 0,12m, definito dalla normativa vigente.

È fondamentale la corretta progettazione di questi spazi in quanto i posti con una visibilità limitata non potranno essere utilizzati, durante questa fase bisogna tenere conto anche di eventuali balaustre, dispositivi di comunicazione, postazioni di ripresa e di tutti quegli elementi che potrebbero rappresentare un ostacolo impedendo la corretta visualizzazione dell'area di gioco.

DIMENSIONAMENTO DEGLI SPALTI

Al fine di permettere la corretta visuale a tutti gli spettatori presenti nell'arena, viene valutato per la progettazione degli spalti l'angolo di visuale. L'angolo di visuale (c) permette a tutti gli spettatori di avere un campo visivo libero verso il campo da gioco, non parzialmente ostruito dalle teste di chi è seduto nella fila davanti. A tal proposito, viene misurata l'altezza dell'ultimo spettatore nel posto a sedere più lontano dal campo da gioco (a), oltre a ricavare le misure della profondità dei diversi anelli dell'arena (x), a partire dal bordo campo. La misura riportata per ogni anello considerato fa riferimento alla distanza dell'ultimo spettatore dal limite del campo da gioco dell'arena. Essendo nello specifico caso la proiezione a terra dell'arena pari a 18,5m e determinata dai parametri di progettazione, al fine di calcolare l'angolo visuale c, viene variato il valore di b, imponendo come fissato d=12 cm.

Di seguito viene riportata la formula utilizzata per calcolare l'angolo visuale, considerando come limite l'ultimo spettatore nella seduta più distante dal campo:

$$c = \frac{(a \cdot b)}{x} + d$$

E definendo a' come la differenza fra l'altezza dello spalto e l'altezza della seduta dell'ultimo spettatore presente sull'anello di spalti considerati:

$$a' = a - h$$

In questo modo, viene calcolato il valore di c variabile per ogni livello degli spalti considerati: i due anelli avranno differenti pendenze per permettere a tutti gli spettatori di avere una corretta visuale del campo da gioco.

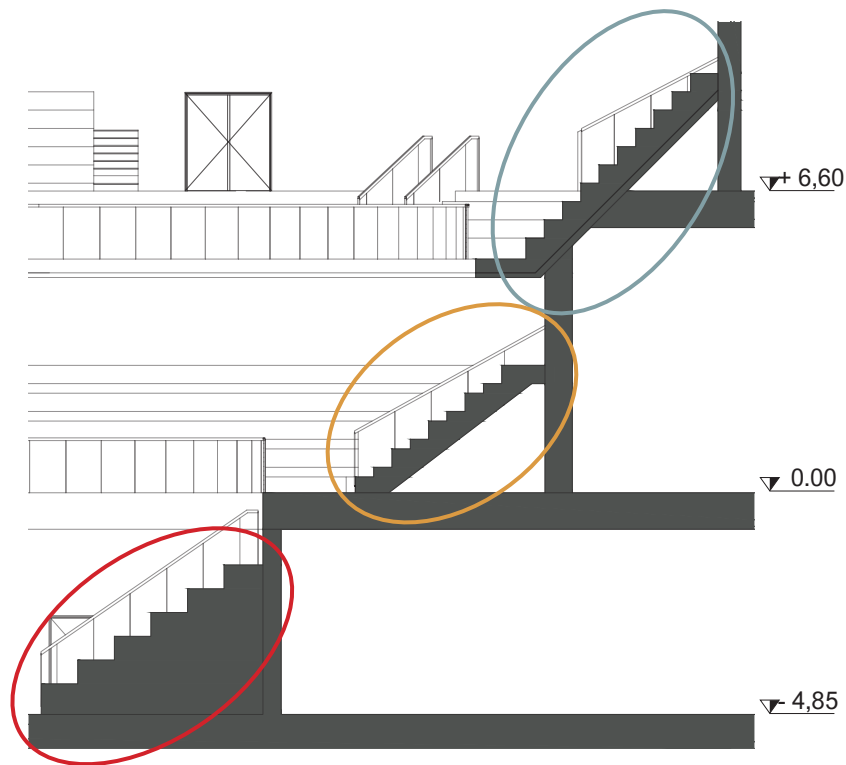


Figura III.2.16. Schema grafico a fini rappresentativi per il dimensionamento degli spalti

Colore	Livello	x	a	a'	c
—	Spalti telescopici	3,3m	3,3m	2,5m	0,92m
—	I anello	13,7m	8,4m	7,6m	0,61m
—	II anello	18,2m	14,8m	14m	0,67m

Figura III.2.17. Dati riassuntivi del dimensionamento degli spalti

Viene infine fatta una verifica finale tramite la formula inversa per ricavare il valore di x , affinché il valore di c risulti ammissibile per il caso in esame; in questo modo, tutti i livelli degli spalti considerati risultano verificati.

2.3. ANTINCENDIO

2.3.1. ERP

Gli edifici pubblici, denominati ERP, comprendono un numero molto elevato di strutture, come negozi e centri commerciali, cinema, teatri, ospedali, alberghi e ristoranti ecc... di conseguenza, dato il grande numero di persone che tali edifici possono contenere, gli spazi devono essere costruiti in modo da consentire la rapida evacuazione di tutti gli occupanti.

CLASSIFICA DEGLI STABILIMENTI

I vari ERP sono suddivisi in categorie in base alla funzione che essi assolvono e al numero di visitatori e di personale.

Si distinguono:

- categoria 1: oltre 1.500 persone;
- categoria 2: da 701 a 1.500 persone;
- categoria 3: da 301 a 700 persone;
- categoria 4: 300 persone e meno, ad eccezione degli stabilimenti di 5a categoria;
- categoria 5: strutture che accolgono un numero di persone inferiore alla soglia a seconda del tipo di struttura.

Per l'applicazione delle norme di sicurezza, gli ERP sono classificati in due gruppi: la prima comprende gli stabilimenti di 1a, 2a, 3a e 4a categoria; la seconda riguarda solo gli stabilimenti di 5a categoria.

Il caso studio è un'arena polifunzionale e si stima la presenza di circa 5000 persone, quindi appartiene alla categoria 1.

Per le seguenti normative si fa riferimento al "Arrêté du 25 juin 1980 portant approbation des dispositions générales du règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public (ERP)", ovvero alle disposizioni generali delle norme di sicurezza contro i rischi di incendio negli esercizi aperti al pubblico approvate dal governo francese.

Si riportano, riassunte, le informazioni principali da tenere in considerazione durante la progettazione dell'arena.

ACCESSIBILITÀ

Pista fruibile dai mezzi di soccorso e spazio libero

Normativa contenuta nel libro II, capitolo II, sezione 1, articolo CO2 dell'Arrêté du 25 juin 1980

La larghezza minima della corsia percorribile dai mezzi di soccorso deve essere di 8 metri indipendentemente dal senso di marcia in cui si accede dalla pubblica via.

Su una lunghezza inferiore a 20 metri, la larghezza della carreggiata può essere ridotta a 3 metri e le banchine rimosse.

La pendenza della carreggiata deve essere inferiore al 15%.

Accessibilità dall'esterno

Normativa contenuta nel libro II, nel capitolo II, sezione 1, articolo CO3 dell'Arrêté du 25 juin 1980

Ciascun edificio, a seconda della sua altezza e del numero del pubblico accolto, deve avere una o più facciate accessibili, ciascuna servita da un percorso o da uno spazio libero.

Le facciate cieche o con infissi fissi devono essere dotate di aperture accessibili rispondenti alle seguenti caratteristiche:

- altezza: minimo 1,80 metri;
- larghezza: minimo 0,90 metri;
- distanza tra aperture successive poste allo stesso livello: da 10 a 20 metri;

Numero di facciate accessibili e servite da strade o spazi aperti

Normativa contenuta nel libro II, capitolo II, sezione 1, articolo CO4 dell'Arrêté du 25 juin 1980

Per gli stabilimenti di categoria 1 che accolgono più di 3.500 persone il numero minimo di facciate accessibili deve essere di due facciate opposte servite da due corsie larghe 12 metri o tre facciate o servite da due corsie larghe 12 metri e una corsia larga 8 metri.

PERCORSI DI EMERGENZA

Si riportano di seguito le definizioni di alcuni termini contenuti della sezione in oggetto in modo da rendere chiaro il contenuto:

- sgombero: qualsiasi parte della costruzione che consenta il percorso di evacuazione degli occupanti: porta, uscita, circolazione orizzontale, zona di circolazione, scala, corridoio, rampa, ecc;
- circolazione principale: circolazione orizzontale che garantisce un percorso diretto verso scale, uscite o uscite;
- circolazione secondaria: circolazione orizzontale che garantisce un flusso di persone verso le principali circolazioni;
- autorizzazione protetta: sgombero in cui il pubblico è al riparo da fiamme e fumo, vale a dire:
 - spazio chiuso: spazio protetto in cui tutte le pareti hanno un grado minimo di resistenza al fuoco imposto;
 - spazio libero o rampa aperta: spazio protetto la cui parete rivolta verso il vuoto della facciata comprende permanentemente, per tutta la sua lunghezza, vuoti almeno pari alla metà della superficie totale di tale parete.
- chiudiporta a porta: porta dotata di un dispositivo atto a riportarla automaticamente in posizione di chiusura non appena viene aperta per il passaggio di persone;
- porta a chiusura automatica: porta munita di chiudiporta e di un dispositivo atto a mantenerla in posizione aperta e sbloccarla al momento dell'incidente;
- area di attesa sicura: area protetta da fumo, fiamme e radiazioni di calore.

Unità di passaggio, larghezza di passaggio

Normativa contenuta nel libro II, capitolo II, sezione 9, articolo CO 36 dell'Arrêté du 25 juin 1980

L'unità di passaggio è una larghezza standard di 0,60 metri.

Tuttavia, quando uno spazio risulta della grandezza di solo una o due unità di passaggio,

la larghezza viene rispettivamente aumentata da 0,60 metri a 0,90 metri e da 1,20 metri a 1,40 metri in modo da essere a favore di sicurezza.

Gli stabilimenti, i locali, i livelli, i settori o i compartimenti con una forza lavoro complessiva superiore a 200 persone devono prevedere spazi normali di larghezza non inferiore a due unità di passaggio.

Calcolo delle uscite di sicurezza

Normativa contenuta nel libro II, capitolo II, sezione 9, articolo CO 38 dell'Arrêté du 25 juin 1980

I piani, locali, settori o compartimenti devono essere serviti da spazi dimensionati secondo il numero delle persone che vi possono essere ammesse:

- Da 1 a 19 persone: gli spazi devono essere serviti da un'uscita avente una larghezza di un'unità di passaggio;
- Da 20 a 50 persone: gli spazi devono essere serviti o da due aperture che danno all'esterno o su stanze che non portano a vicoli ciechi, una delle due aperture deve essere di pari a un'unità di passaggio; oppure per i locali posti al piano superiore deve essere prevista una scala avente una larghezza di un'unità di passaggio integrata da un lucernario accessorio se il piano inferiore del livello accessibile al pubblico si trova a più di otto metri dal suolo.
- Da 51 a 100 persone: gli spazi devono essere serviti da un'uscita avente una larghezza di due unità di passaggio;
- Più di 100 persone: devono essere previste due uscite fino a 500 persone, aumentate di un'uscita ogni 500 persone. L'ampiezza degli sgomberi deve essere calcolata sulla base di una unità di passaggio per 100 persone; al di sotto di 501 persone, il numero di unità di transito aumenta di una unità.

Ad ogni livello, l'organico da prendere in considerazione per il calcolo del numero e della larghezza delle scale a servizio di tale livello deve sommare l'organico del livello stesso con quello dei livelli posti sopra per i livelli sopraelevati e sottostanti.

In assenza di riferimenti relativi alla normativa francese, si riportano di seguito i valori di densità di affollamento contenuti all'interno del "Testo coordinato dell'allegato I del DM 3 agosto 2015 Codice di prevenzione incendi" utilizzati per il dimensionamento e numero delle uscite di sicurezza. La tabella è stata ridotta in modo da contenere soltanto le destinazioni d'uso compatibili con l'edificio oggetto di studio.

Tipologia di attività	Densità di affollamento
Ambiti destinati ad attività di spettacolo o intrattenimento (es. sale concerti, trattenimenti danzanti, ...) con presenza di arredi	1,2 persone/m ²
Ambiti adibiti a ristorazione	0,7 persone/m ²
Sale d'attesa	0,4 persone/m ²
Uffici	
Ambiti di vendita di attività commerciali al dettaglio senza settore alimentare	0,2 persone/m ²
Sale di lettura di biblioteche, archivi	0,1 persone/m ²
Ambulatori	
Autorimesse pubbliche	2 persone per veicolo parchato

Figura III.2.18. Densità di affollamento per tipologia di attività

La tabella seguente riporta la relazione tra destinazione d'uso del locale, indice di densità di affollamento e superficie dei locali in modo da definire il numero di persone massime per locale (densità di affollamento * superficie del locale) e quindi, in riferimento all'articolo CO 38 dell'Arrêté du 25 juin 1980 (libro II, capitolo II, sezione 9) calcolare lo schema delle uscite di emergenza.

Il numero dei fruitori degli spogliatoi è determinato dalla normativa CONI per l'impiantistica sportiva (deliberazione n. 851 del 15 luglio 1999) e implica una densità di 1,6 m²/persona, di conseguenza il massimo numero di utenti ammesso contemporaneamente in uno spogliatoio è ottenuto dividendo la superficie della stanza per m²/persona.

Piano	Destinazione d'uso del locale	Densità di affollamento	Superficie locale	Persone max per locale	Dimensione e numero minimo di uscite di sicurezza
-2	Parcheggio	2 persone a veicolo	-	224	2 uscite di 2 unità di passaggio
-1	Security room 1 (ovest)	0,4 pers/m ²	87m ²	34	1 uscita di 2 unità di passaggio
-1	Security room 2 (est)	0,4 pers/m ²	84m ²	33	1 uscita di 2 unità di passaggio
-1	Screening + bag X ray 1 (nord)	0,4 pers/m ²	94m ²	38	1 uscita di 2 unità di passaggio
-1	Screening + bag X ray 2 (sud)	0,4 pers/m ²	76m ²	30	1 uscita di 2 unità di passaggio
-1	Centro medico atleti	0,4 pers/m ²	167m ²	67	2 uscite di 1 unità di passaggio
-1	Sala attesa antidoping	0,4 pers/m ²	39m ²	15	1 uscita di 1 unità di passaggio
-1	Uffici antidoping	0,4 pers/m ²	39m ²	15	1 uscita di 1 unità di passaggio
-1	Ambulatorio 1 antidoping	0,1 pers/m ²	65m ²	7	1 uscita di 1 unità di passaggio
-1	Ambulatorio 2 antidoping	0,1 pers/m ²	108m ²	11	1 uscita di 1 unità di passaggio
-1	Press conference room + commentatori e fotografi	0,4 pers/m ²	293m ²	118	2 uscite di 2 unità di passaggio
-1	Spogliatoio personale di campo	1,6 m ² /pers	63m ²	40	1 uscita di 2 unità di passaggio
-1	Spogliatoio staff 1	1,6 m ² /pers	71m ²	44	1 uscita di 2 unità di passaggio
-1	Spogliatoio staff 2	1,6 m ² /pers	91m ²	57	1 uscita di 2 unità di passaggio
-1	Spogliatoio allenatori 1-2	1,6 m ² /pers	19m ²	12	1 uscita di 1 unità di passaggio
-1	Spogliatoio atleti 1-2-3-4	1,6 m ² /pers	100m ²	62	1 uscita di 2 unità di passaggio

Piano	Destinazione d'uso del locale	Densità di affollamento	Superficie locale	Persone max per locale	Dimensione e numero minimo di uscite di sicurezza
-1	Centro massaggi	0,1 pers/m ²	60m ²	6	1 uscita di 1 unità di passaggio
-1	Biglietteria	0,4 pers/m ²	116m ²	46	2 uscite di 1 unità di passaggio
-1	Spazio eventi	1,2 pers/m ²	215m ²	258	2 uscite di 2 unità di passaggio
-1	Negozi 1	0,2 pers/m ²	230m ²	46	2 uscite di 1 unità di passaggio
-1	Negozi 2	0,2 pers/m ²	223m ²	45	2 uscite di 1 unità di passaggio
-1	Merchandising	0,2 pers/m ²	172m ²	34	2 uscite di 1 unità di passaggio
-1	Centro direzionale	0,4 pers/m ²	270m ²	108	2 uscite di 2 unità di passaggio
-1	Ristorante	0,7 pers/m ²	253m ²	177	2 uscite di 2 unità di passaggio
-1	Cucina	0,7 pers/m ²	51m ²	36	1 uscita di 2 unità di passaggio
-1	Hall palestra	0,4 pers/m ²	54m ²	22	1 uscita di 2 unità di passaggio
-1	Spogliatoi palestra 1-2	1,6 m ² /pers	50m ²	31	1 uscita di 2 unità di passaggio
-1	Palestra	1,2 pers/m ²	777m ²	932	3 uscite di 2 unità di passaggio
0	Security room	0,4 pers/m ²	86m ²	34	1 uscita di 2 unità di passaggio
0	Accreditation + Competition managing + Ceremony staging + Logistic centre	0,4 pers/m ²	255m ²	102	3 uscite di 2 unità di passaggio
0	Command centre	0,4 pers/m ²	83m ²	33	1 uscita di 2 unità di passaggio
0	Screening + bag X ray 1 (ovest)	0,4 pers/m ²	92m ²	19	2 uscite di 2 unità di passaggio
0	Screening + bag X ray 2 (est)	0,4 pers/m ²	52m ²	21	2 uscite di 1 unità di passaggio
0	Centro medico spettatori	0,1 pers/m ²	124m ²	12	1 uscita di 1 unità di passaggio
0	Guardaroba 1 (ovest)	0,4 pers/m ²	52m ²	20	2 uscite di 1 unità di passaggio
0	Guardaroba 2 (est)	0,4 pers/m ²	52m ²	20	2 uscite di 1 unità di passaggio

Piano	Destinazione d'uso del locale	Densità di affollamento	Superficie locale	Persone max per locale	Dimensione e numero minimo di uscite di sicurezza
0	Biglietteria 1 (ovest)	0,4 pers/m ²	109m ²	44	2 uscite di 1 unità di passaggio
0	Biglietteria 2 (est)	0,4 pers/m ²	52m ²	20	2 uscite di 1 unità di passaggio
0	Centro direzionale	0,4 pers/m ²	173m ²	70	1 uscita di 2 unità di passaggio
0	Info point	0,4 pers/m ²	71m ²	29	2 uscite di 1 unità di passaggio
0	Ristorante	0,7 pers/m ²	260m ²	182	2 uscite di 2 unità di passaggio
0	Cucina	0,7 pers/m ²	50m ²	35	1 uscita di 2 unità di passaggio
0	Negozio 1-2	0,2 pers/m ²	55m ²	11	1 uscita di 1 unità di passaggio
0	Negozio 3	0,2 pers/m ²	88m ²	18	1 uscita di 1 unità di passaggio
0	Merchandising 1	0,2 pers/m ²	220m ²	44	2 uscite di 1 unità di passaggio
0	Merchandising 2	0,2 pers/m ²	87m ²	17	1 uscita di 1 unità di passaggio
+1	Security room	0,4 pers/m ²	87m ²	34	1 uscita di 2 unità di passaggio
+1	Stampa	0,4 pers/m ²	257m ²	103	2 uscite di 2 unità di passaggio
+1	Cucina	0,7 pers/m ²	37m ²	26	1 uscita di 1 unità di passaggio
+1	Area ristoro	0,7 pers/m ²	81m ²	56	1 uscita di 2 unità di passaggio
+1	Sala riunioni	0,4 pers/m ²	236m ²	95	2 uscite di 2 unità di passaggio
+1	VIP lounge	0,4 pers/m ²	257m ²	102	2 uscite di 2 unità di passaggio
+1	Language services	0,4 pers/m ²	53m ²	21	2 uscite di 1 unità di passaggio
+1	VIP box	0,4 pers/m ²	50m ²	20	2 uscite di 1 unità di passaggio
+1	Centro direzionale	0,4 pers/m ²	250m ²	100	1 uscita di 2 unità di passaggio
+1	Ristorante	0,7 pers/m ²	235m ²	165	2 uscite di 2 unità di passaggio
+1	Cucina	0,7 pers/m ²	50m ²	35	1 uscita di 2 unità di passaggio

Piano	Destinazione d'uso del locale	Densità di affollamento	Superficie locale	Persone max per locale	Dimensione e numero minimo di uscite di sicurezza
+1	Sala relax	0,2 pers/m ²	395m ²	79	2 uscite di 2 unità di passaggio
+2	Security room	0,4 pers/m ²	87m ²	34	1 uscita di 2 unità di passaggio
+2	Broadcast	0,4 pers/m ²	257m ²	103	2 uscite di 2 unità di passaggio
+2	Cucina	0,7 pers/m ²	37m ²	26	1 uscita di 1 unità di passaggio
+2	Area ristoro	0,7 pers/m ²	81m ²	56	1 uscita di 2 unità di passaggio
+2	Studio TV	0,4 pers/m ²	500m ²	200	3 uscite di 2 unità di passaggio
+2	Language services	0,4 pers/m ²	58m ²	23	2 uscite di 1 unità di passaggio
+2	Commentatori e fotografi	0,4 pers/m ²	104m ²	42	2 uscite di 1 unità di passaggio
+2	CCTV	0,4 pers/m ²	109m ²	44	2 uscite di 1 unità di passaggio
+2	Centro direzionale	0,4 pers/m ²	250m ²	100	1 uscita di 2 unità di passaggio
+2	Ristorante	0,7 pers/m ²	235m ²	165	2 uscite di 2 unità di passaggio
+2	Cucina	0,7 pers/m ²	50m ²	35	1 uscita di 2 unità di passaggio
+2	Bar	0,7 pers/m ²	53m ²	37	1 uscita di 2 unità di passaggio

Figura III.2.19. Calcolo e dimensionamento uscite di sicurezza

Tali calcoli sono stati utilizzati per capire il minimo di porte e dimensioni per garantire un'evacuazione sicura in caso di incendio. Si è scelto di utilizzare porte con ante di dimensioni 0,90m in modo da garantire l'accessibilità di utenti dotati di sedia a rotelle.

Calcolo degli ingombri per i locali aperti al pubblico installati al piano interrato

Normativa contenuta nel libro II, capitolo II, sezione 9, articolo CO 39 dell'Arrêté du 25 juin 1980

Un locale o un piano (parziale o totale) si dice interrato quando soddisfa una delle seguenti condizioni:

- la parte inferiore del piano si trova a meno di 1 metro sopra il livello medio delle soglie di uscita all'esterno di tale locale o livello;
- il piano ribassato è inferiore di oltre 1 metro al livello medio delle soglie di uscita poste all'esterno di tale locale o livello.

Se il punto più basso del livello accessibile al pubblico è inferiore di oltre 2 metri al livello medio delle soglie delle uscite verso l'esterno e se ospita più di 100 persone, il numero e l'ampiezza degli sgomberi di questo livello sono determinati secondo le regole dell'articolo CO 38 da una forza lavoro teorica calcolata come segue.

Il numero di persone ammesse è:

- arrotondato al centinaio più vicino;
- maggiorato del 10% per metro o frazione di metro oltre i 2 metri di profondità.

Distribuzione delle uscite, distanze massime da percorrere

Normativa contenuta nel libro II, capitolo II, sezione 9, articolo CO 43 dell'Arrêté du 25 juin 1980

Le uscite regolamentari dallo stabilimento devono essere distribuite in modo da assicurare la rapida evacuazione degli occupanti ed evitare che più uscite siano sottoposte contemporaneamente agli effetti del disastro.

La distanza massima, misurata lungo l'asse di circolazione, che il pubblico deve percorrere al piano terra da qualsiasi punto di un locale per raggiungere un'uscita che conduce all'esterno o uno spazio protetto che conduce all'esterno, non deve superare:

- 50 metri se esiste la scelta tra più uscite;
- 30 metri se non sono presenti altre uscite.

Quando la distanza lineare tra due porte o gruppi di porte che consentono l'uscita da un locale è inferiore a 5 m, queste sono conteggiate come uscita unica e il numero di unità di passaggio è ottenuto sommando le unità di passaggio dei gruppi di porte.

Caratteristiche delle porte

Normativa contenuta nel libro II, capitolo II, sezione 9, articoli CO 44, CO 45 e CO 48 dell'Arrêté du 25 juin 1980

Le porte a battente devono prevedere una sezione vetrata all'altezza degli occhi.

Le porte tagliafuoco a due ante e munite di chiudiporta devono essere munite di un dispositivo che garantisca la completa chiusura di tali ante.

Le porte che servono gli stabilimenti, compartimenti, settori o locali che possono accogliere più di cinquanta persone devono aprirsi nel senso dell'uscita.

Tutte le porte delle scale devono aprirsi anche direzione di fuga.

Le porte di attraversamento delle circolazioni orizzontali utilizzate nei due sensi per ottenere un'uscita verso l'esterno devono aprirsi avanti e indietro.

I tornelli sono ammessi solo negli atri.

Caratteristiche delle pareti verticali e delle porte

Normativa contenuta nel libro II, capitolo II, sezione 6, articolo CO 24 dell'Arrêté du 25 juin 1980

Le lunghe circolazioni orizzontali chiuse devono essere intersecate ogni 25-30 metri da pareti tagliafuoco di mezz'ora e porte dotate di chiudiporta.

I settori devono essere isolati tra loro da una parete tagliafuoco con grado di un'ora. Ogni settore deve avere una superficie massima di 800 mq.

SCALEDistribuzione delle scale e distanze massime da percorrere

Normativa contenuta nel libro II, capitolo II, sezione 9, articolo CO 49 dell'Arrêté du 25 juin 1980

Le scale regolamentari devono essere opportunamente distribuite in tutto lo stabilimento in modo da servire facilmente tutte le parti e dirigere rapidamente gli occupanti verso le uscite verso l'esterno.

La distanza massima misurata lungo l'asse delle circolazioni che il pubblico deve percorrere al piano superiore e nel seminterrato da qualsiasi punto di un locale non deve superare:

- 40 metri per raggiungere una scala protetta o una circolazione orizzontale protetta, le cui porte siano tutte dotate di chiudiporta, oppure 30 metri per raggiungere uno di questi sgomberi se ci si trova in una parte dello stabilimento formante un vicolo cieco;
- 30 metri per raggiungere una scala non protetta.

Lo sbocco a livello del piano terra di una scala chiusa deve avvenire:

- direttamente all'esterno;
- in prossimità di un'uscita o di un varco protetto che conduce all'esterno e, comunque, a meno di 20 metri da tale uscita o varco.

Progettazione di scale

Normativa contenuta nel libro II, capitolo II, sezione 9, articolo CO 50 dell'Arrêté du 25 juin 1980

Le scale di servizio ai piani devono essere continue fino al livello che consente l'evacuazione verso l'esterno. Nel caso eccezionale in cui una scala che conduce al piano inferiore non sia direttamente un prolungamento di quella del piano superiore, deve essere collegata ad essa da un pianerottolo della stessa larghezza mantenuto sempre libero.

Il percorso diretto tra le scale che servono i piani e quelle che servono gli interrati deve essere interrotto in modo che i fumi degli interrati non possano invadere i piani superiori.

Sicurezza d'uso delle scale

Normativa contenuta nel libro II, capitolo II, sezione 9, articolo CO 51 dell'Arrêté du 25 juin 1980

Le scale di larghezza pari ad almeno un'unità di passaggio devono essere munite di corrimano. Quelli con una larghezza di due unità di passaggio o più devono avere un corrimano su ciascun lato.

I gradini successivi devono sovrapporsi di 0,05 metri se non ci sono alzate.

Protezione di scale

Normativa contenuta nel libro II, capitolo II, sezione 9, articolo CO 52 e CO 53 dell'Arrêté du 25 juin 1980

In tutti i casi, lo sbocco a livello del piano terra di una scala non protetta deve avvenire:

- a meno di 50 metri da un'uscita che conduce all'esterno o da uno spazio protetto se vi è la possibilità di scegliere tra più uscite;
- entro 30 metri altrimenti.

Le porte devono avere un'altezza massima di 2,20 metri.

Scale dritte

Normativa contenuta nel libro II, capitolo II, sezione 9, articolo CO 55 dell'Arrêté du 25 juin 1980

Le scale rettilinee destinate alla pubblica circolazione devono essere realizzate in modo che i gradini siano conformi alle regole dell'arte e che le rampe abbiano un massimo di 25 gradini, ad eccezione delle circolazioni a servizio dei posti in tribuna.

Se la larghezza delle scale supera le quattro unità di passaggio, esse devono essere intersecate da uno o più corrimano intermedi che separino numeri interi di unità di passaggio, senza poter superare le quattro. Le scale possono essere sostituite da rampe con pendenza non superiore al 12%.

I pianerottoli devono avere una larghezza pari a quella delle scale.

Spazi sicuri

Normativa contenuta nel libro II, capitolo II, sezione 9, articolo CO 59 dell'Arrêté du 25 juin 1980

Le aree di attesa sicure possono essere allestite in tutte le aree accessibili al pubblico o al personale ad eccezione dei locali particolarmente a rischio.

Le caratteristiche di un'area di attesa sicura sono le seguenti:

- essere minimo 2 per piano a cui possono accedere persone in carrozzina;
- essere realizzato in prossimità di una scala considerata come normale sgombero;
- essere raggiungibile entro le distanze massime previste dagli articoli CO 43 e CO 49.

La capacità degli spazi sicuri deve essere calcolata in modo tale che essa possa disporre di una superficie per accogliere almeno 2 persone in carrozzina per un numero di pubblico inferiore o uguale a 50 persone, incrementata di una persona in carrozzina ogni 50 persone.

Tribune e gradinate non smontabili

Normativa contenuta nel libro II, capitolo II, sezione 10, articolo CO 61 dell'Arrêté du 25 juin 1980

I gradini di gradinate, scale e percorsi a servizio dei posti a sedere devono avere una pedata maggiore o uguale a 0,25m mentre l'alzata non può superare 0,18m.

I parapetti, le ringhiere delle scale o i maniglioni devono essere installati:

- nelle parti dello stand in cui il dislivello tra due gradinate successive, ovvero tra una gradinata e il suolo, è maggiore o uguale a 1 metro;
- nelle parti di tribuna dove il pubblico sta stabilmente in piedi.

ASCENSORI

Dispositivi di emergenza

Normativa contenuta nel libro II, capitolo IX, sezione 2, articolo SA 3 dell'Arrêté du 25 juin 1980

Ogni ascensore che può ospitare più di otto persone deve essere dotato di una botola di emergenza e di una scala metallica che consenta di raggiungere il tetto della cabina in caso di arresto accidentale; questa scala può essere posizionata nella cabina stessa, sul suo tetto o lungo di essa.

Disposizioni speciali relative agli ascensori destinati all'evacuazione dei portatori di handicap fisici

Normativa contenuta nel libro II, capitolo IX, sezione 1, articolo SA 4 dell'Arrêté du 25 juin 1980

Gli ascensori destinati all'evacuazione, in caso di incendio, delle persone con disabilità devono prevedere una sala antistante agli ascensori in modo tale da fungere da area di attesa.

Le caratteristiche di questa sala d'attesa sono le seguenti:

- la superficie totale del locale deve essere calcolata in modo da accogliere le persone con disabilità chiamate a frequentare il livello interessato. Tale superficie deve essere aumentata quando la sala d'aspetto da' accesso anche alle scale in modo che il passaggio di persone normodotate non costituisca intralcio al passaggio dei disabili;
- la distanza da percorrere da qualsiasi punto di un piano accessibile ai disabili per raggiungere la porta di accesso al locale più vicino è di 40 metri quando si può scegliere tra più percorsi o sale d'attesa e di 30 metri altrimenti. Questa distanza è misurata lungo l'asse di circolazione.

MEZZI DI EMERGENZA CONTRO IL FUOCO

Accessibilità dei punti d'acqua

Normativa contenuta nel libro II, capitolo XI, sezione 2, articolo SM 7 dell'Arrêté du 25 juin 1980

Le posizioni dei punti d'acqua devono essere:

- facilmente accessibile in ogni momento;
- contrassegnato secondo lo standard francese;
- situato a non più di 5 metri dal bordo della carreggiata o dal parcheggio dei mezzi antincendio.

Colonne a secco

Normativa contenuta nel libro II, capitolo XI, sezione 2, articoli SM 18 e SM 19 dell'Arrêté du 25 juin 1980

Le colonne montanti a secco devono essere installate negli stabilimenti, quando i locali ad alto rischio sono allestiti su piani il cui piano ribassato si trova a più di 18 metri dal livello della strada accessibile alle attrezzature dei vigili del fuoco.

Il percorso tra i collegamenti di alimentazione dei montanti e gli idranti o le postazioni antincendio non deve superare i 60 metri di lunghezza.

Sistema di spegnimento automatico tipo sprinkler

Normativa contenuta nel libro II, capitolo XI, sezione 2, articolo MS 25 dell'Arrêté du 25 juin 1980

In tutto o in parte di uno stabilimento può essere dotato di un sistema di estinzione automatico del tipo a sprinkler.

La parte dello stabilimento protetta da tale sistema deve essere isolata dalla parte non protetta alle condizioni previste per i locali particolarmente a rischio.

Posizione dispositivi mobili

Normativa contenuta nel libro II, capitolo XI, sezione 2, articolo MS 39 dell'Arrêté du 25 juin 1980

I mezzi di estinzione devono essere preferibilmente distribuiti negli sgomberi, in luoghi visibili, facilmente accessibili e in modo che non vadano a interferire con la circolazione delle persone all'interno dello stabilimento.

È previsto un minimo di un dispositivo per 200 m² e per livello, con un minimo di due per stabilimento. Devono essere fissati ad un elemento fisso, con segnaletica durevole, senza posizionare la maniglia di trasporto a più di 1,20 m da terra.

2.3.2. IMPIANTI SPORTIVI COPERTI

Le disposizioni del presente capitolo si applicano agli stabilimenti chiusi e coperti destinati ad attività fisiche e sportive, ed in particolare:

- i palazzetti polisportivi;
- sale per l'educazione fisica e lo sport;
- palazzetti dello sport specializzati;
- piste di pattinaggio;
- piscine coperte, trasformabili e miste;
- locali polivalenti a vocazione sportiva, la cui area di attività è inferiore a 1.200 mq e l'altezza del soffitto maggiore o uguale a 6,50 metri, in cui il numero di persone ammesse è maggiore o uguale a una delle seguenti cifre:
 - 100 persone al piano interrato;
 - 100 persone in piani, gallerie e altre strutture in elevazione;
 - 200 persone in totale.

Calcolo dell'organico

Normativa contenuta nel libro II, capitolo XII, sezione 1, articolo X 2 dell'Arrêté du 25 juin 1980

Per palazzetti polisportivi, di educazione fisica e sportiva e palazzetti dello sport il numero massimo di persone ammesse contemporaneamente è determinato dal massimo valore ottenuto di seguito:

- 1 persona per 4 mq di area di attività sportiva;
- 1 persona ogni 8 mq di area di attività sportiva, a cui va aggiunto il numero di spettatori riportato qui di seguito.

Il numero massimo di spettatori ammessi è determinato sommando:

- il numero di persone sedute su seggiolini fissi o seggiolini ribaltabili;
- il numero di persone sedute sulle panchine in ragione di 1 persona ogni 0,50 metri;
- il numero di persone che possono sostare sulle passeggiate in ragione di 5 persone per metro lineare.

Lunghi corridoi

Normativa contenuta nel libro II, capitolo XII, sezione 3, articolo X 13 dell'Arrêté du 25 juin 1980

I lunghi passaggi orizzontali chiusi e non utilizzati dagli spettatori, possono essere tagliati ogni 45 metri circa.

Gradinate

Normativa contenuta nel libro II, capitolo XII, sezione 4, articolo X 18 dell'Arrêté du 25 juin 1980

Ogni fila può comprendere ventidue spazi tra due circolazioni, o undici spazi tra un muro e una circolazione.

Mezzi di estinzione

Normativa contenuta nel libro II, capitolo XII, sezione 9, articolo X 24 dell'Arrêté du 25 juin 1980

La protezione contro il fuoco deve essere assicurata:

- mediante estintori portatili ad acqua nebulizzata di almeno 6 litri con minimo un dispositivo ogni 200 mq di superficie dei locali accessori e dei locali tecnici, in modo che la distanza per raggiungere un estintore non superi i 15 metri;
- mediante estintori adeguati ai rischi particolari.

Nelle aree di lavoro delle postazioni di lavaggio dotate di tubo flessibile non sono richiesti estintori ad acqua nebulizzata.

2.3.3. PARCHEGGI COPERTI

Il presente capitolo integra quanto previsto dalle norme di sicurezza contro i rischi di incendio e panico negli esercizi aperti al pubblico.

Stabilisce i requisiti applicabili ai parcheggi coperti che possono ospitare più di 10 autoveicoli. Il peso totale autorizzato di ciascun veicolo ammesso a questi spazi non deve superare le 3,5 tonnellate.

Ai fini del presente regolamento, i seguenti termini significano:

- parcheggio: stabilimento coperto sormontato da un pavimento, un tetto, un terrazzo o una copertura qualunque sia la sua natura. È destinato al deposito di veicoli a motore e dei loro rimorchi;
- parcheggio misto: parcheggio con livelli di parcheggio sovrapposti;
- livello: spazio verticale che separa le piattaforme di parcheggio;
- piano di riferimento: piano della strada a servizio dell'edificio e agibile da mezzi di pubblica emergenza e antincendio,
- unità di passaggio: la larghezza standard denominata unità di passaggio è di 0,60 metri. Tuttavia, quando uno spazio comprende solo una o due unità di passaggio, la larghezza viene rispettivamente aumentata da 0,60 metri a 0,90 metri e da 1,20 metri a 1,40 metri;
- sgombero: qualsiasi parte della costruzione che consenta il percorso di evacuazione degli occupanti: porta, uscita, circolazione orizzontale, area di circolazione, scale, corridoio, rampa pedonale, marciapiede.

Nel caso di più accessi tramite percorsi posti a quote diverse, la quota di riferimento è

determinata dal percorso più basso per i parcheggi dell'infrastruttura e dal percorso più alto per i parcheggi dell'armamento.

Progettazione

Normativa contenuta nel libro IV, capitolo VI, sezione 2, articolo P.S. 5 dell'Arrêté du 25 juin 1980

Ogni parcheggio è servito, alla quota di riferimento, da almeno 1 corsia fruibile stabilmente dai mezzi dei servizi pubblici antincendio e di soccorso.

Locali non accessibili al pubblico

Normativa contenuta nel libro IV, capitolo VI, sezione 2, articolo P.S. 9 dell'Arrêté du 25 juin 1980

L'accesso ai locali non accessibili al pubblico deve essere mantenuto sgombro.

Se si tratta di locali necessari al funzionamento del parcheggio non vi è condizione di isolamento, nel caso di locali tecnici non legati al funzionamento del parcheggio vi è necessità di pareti resistenti al fuoco almeno 1 ora, REI 60 se svolgono funzione portante, o EI 60.

Compartimentazione

Normativa contenuta nel libro IV, capitolo VI, sezione 2, articolo P.S. 12 dell'Arrêté du 25 juin 1980

Ad eccezione dei parcheggi ampiamente areati, ogni livello deve essere suddiviso in compartimenti inferiori a 3.000 mq. L'area di un vano può essere aumentata fino a 6.000 mq se dotata di un sistema di spegnimento automatico di tipo sprinkler.

La compartimentazione è realizzata da pareti ignifughe di grado 1 ora, REI 60 in caso di funzione portante, o EI 60, anche per le parti vetrate fisse che vi sono integrate. Eventuali porte poste in queste pareti sono ignifughe 1 ora con chiudiporta o E 60 C.

Comunicazioni interne, scale e uscite

Normativa contenuta nel libro IV, capitolo VI, sezione 2, articolo P.S. 13 dell'Arrêté du 25 juin 1980

Ad ogni livello, la distanza che gli utenti devono percorrere per raggiungere una scala o un'uscita esterna alle aree di parcheggio non supera:

- 40 metri se gli utenti si trovano tra almeno 2 scale o uscite opposte;
- 25 metri negli altri casi.

Le distanze sono misurate lungo l'asse di circolazione veicolare dall'asse del luogo più lontano alla porta della scala.

Le scale possono essere sia chiuse che scoperte.

Nel caso di scale chiuse, i muri che le separano dal resto degli spazi sono:

- resistenza al fuoco di 1 ora, REI 60 nel caso di funzione portante o EI 60, nel caso generale;
- tagliafuoco 1/2 ora, REI 30 nel caso di funzione portante o EI 30, se il parcheggio ha un solo livello al piano terra.

Le scale sono realizzate con materiali A1.

All'interno del parcheggio l'accesso alle scale è effettuato a seconda dei casi, secondo le seguenti disposizioni:

- se la scala è all'aperto o quando immette direttamente all'esterno o in un locale all'aperto, mediante porta tagliafuoco e apertura in direzione di l'uscita provenendo dal

parcheggio;

- negli altri casi, da uno spazio calmo con una superficie minima di 3 m² isolata. La distanza tra la porta di accesso allo spazio calmo e la porta di accesso alle scale deve essere inferiore a 10 metri. Una camera di equilibrio può tuttavia essere comune ad al massimo due vani, contigui e installati allo stesso livello.

Se, in corrispondenza dell'uscita, le scale del parcheggio terminano nella stessa corsia di circolazione riservata ai pedoni, quest'ultima è di larghezza pari a tante unità di passaggio quante sono le scale che vi conducono aventi larghezza di almeno 0,90 metri. Questa passerella comune riservata ai pedoni ha almeno due uscite sapientemente distribuite e disposte in modo da evitare vicoli ciechi.

Corridoi di circolazione dei veicoli

Normativa contenuta nel libro IV, capitolo VI, sezione 2, articolo P.S. 14 dell'Arrêté du 25 juin 1980

Le parti del parcheggio riservate al traffico veicolare e formanti una galleria di lunghezza superiore a 50 metri devono rispettare le seguenti disposizioni:

- la loro larghezza è dimensionata in modo da consentire agli occupanti di qualsiasi veicolo di abbandonarlo in caso di fermo;
- la distanza massima da percorrere per uscire da tale galleria o per raggiungere un'uscita o un livello del parcheggio è di 40 metri.

2.3.4. RISTORANTI

Le disposizioni del presente capitolo si applicano a ristoranti, caffè, ecc., nei quali il numero dei membri del pubblico è maggiore o uguale ad una delle seguenti cifre:

- 100 persone al piano interrato;
- 200 persone in piani, gallerie e altre strutture in elevazione;
- 200 persone in totale.

Calcolo dell'organico

Normativa contenuta nel libro II, capitolo III, sezione 1, articolo N 2 dell'Arrêté du 25 juin 1980

Il numero massimo di membri del pubblico ammessi è determinato secondo la seguente densità di occupazione:

- in linea di principio, su dichiarazione controllata della stazione appaltante o del capo stabilimento del numero di posti a sedere nel limite di 1 persona per 2 mq;
- in mancanza di tale dichiarazione, in ragione di una persona per metro quadro.

Circolazioni secondarie

Normativa contenuta nel libro II, capitolo III, sezione 3, articolo N 7 dell'Arrêté du 25 juin 1980

Le circolazioni secondarie possono avere una larghezza minima di 0,60 metri; tale larghezza è presa nella posizione di occupazione dei posti.

Mezzi di estinzione

Normativa contenuta nel libro II, capitolo III, sezione 9, articolo N 16 dell'Arrêté du 25 juin 1980

La protezione contro il fuoco deve essere assicurata:

- mediante pompa antincendio;
- mediante estintori portatili ad acqua nebulizzata di almeno 6 litri, opportunamente distribuiti, con un minimo di un dispositivo per 200 metri quadrati e da estintori adeguati ai rischi particolari.

2.3.5. BIBLIOTECHE, CENTRI DI DOCUMENTAZIONE E ARCHIVI

Le disposizioni del presente capitolo si applicano alle biblioteche e ai centri di consultazione di documentazione e archivi nei quali il numero complessivo del pubblico ammesso sia maggiore o uguale ad una delle seguenti cifre:

- 100 persone al piano interrato;
- 100 persone al piano superiore e altre strutture soprastanti;
- 200 persone in totale.

Progetto

Normativa contenuta nel libro II, capitolo VII, sezione 2, articolo S 3 dell'Arrêté du 25 juin 1980

I vari compartimenti della costruzione devono rispettare le seguenti disposizioni:

- la superficie di ogni compartimento non deve superare i 1.200 metri quadrati;
- le uscite di ogni compartiment non devono distare più di 30 metri l'una dall'altra misurate nell'asse di circolazione.

Mezzi di estinzione

Normativa contenuta nel libro II, capitolo VII, sezione 7, articolo S 15 dell'Arrêté du 25 juin 1980

La protezione contro il fuoco deve essere assicurata:

- mediante estintori portatili ad acqua nebulizzata di almeno 6 litri, opportunamente distribuiti, con minimo un apparecchio ogni 200 mq e per piano;
- mediante estintori adeguati ai rischi particolari.

2.3.6. UFFICI

Le disposizioni del presente capitolo si applicano alle amministrazioni, alle banche e agli uffici in cui il numero di componenti del pubblico è maggiore o uguale ad uno dei seguenti numeri:

- 100 persone al piano interrato;
- 100 persone al piano superiore e altre strutture soprastanti;
- 200 persone in totale.

Calcolo dell'organico

Normativa contenuta nel libro II, capitolo XI, sezione 1, articolo W 2 dell'Arrêté du 25 juin 1980

Il numero massimo di persone ammesse è determinato in base alla seguente densità di occupazione:

- Allestimenti interni previsti: 1 persona ogni 10 mq di locali appositamente attrezzati

per l'accoglienza del pubblico (atrio, biglietterie, sale d'attesa, ecc.);

- Allestimenti interni non previsti: 1 persona ogni 100 mq di superficie calpestabile.

Progettazione della distribuzione interna

Normativa contenuta nel libro II, capitolo XI, sezione 1, articolo W 3 dell'Arrêté du 25 juin 1980

La superficie di un compartimento non deve superare gli 800 metri quadrati.

Scale

Normativa contenuta nel libro II, capitolo XI, sezione 2, articolo W 8 dell'Arrêté du 25 juin 1980

L'assenza di protezione delle scale è ammessa solo nei seguenti casi:

- per tutte le scale, se lo stabilimento ha solo tre livelli, compreso un piano terra, i locali particolarmente a rischio non devono essere in diretta comunicazione con i volumi accessibili al pubblico;
- per un unico scalone monumentale posto in un androne che serve solo i livelli aperti su questo androne.

Mezzi di estinzione

Normativa contenuta nel libro II, capitolo XI, sezione 6, articolo W 11 dell'Arrêté du 25 juin 1980

La protezione contro il fuoco deve essere assicurata:

- mediante estintori portatili ad acqua nebulizzata di almeno 6 litri, opportunamente distribuiti, con un minimo di un dispositivo ogni 200 mq, in modo che la distanza massima da percorrere per raggiungere un estintore non superi i 15 metri;
- mediante estintori adeguati ai rischi particolari.

In aggiunta sulle scale protette deve essere installata una colonna asciutta se l'ultimo piano accessibile si trova a più di 18 metri dal livello di accesso dell'attrezzatura dei vigili del fuoco.

2.3.7. LOCALI PER UDIENZE, CONVEGNI E RIUNIONI

Istituzioni segnalanti

Normativa contenuta nel libro II, capitolo I, sottocapitolo I, sezione 1, articolo L 1 dell'Arrêté du 25 juin 1980

Le disposizioni del presente capitolo si applicano, secondo il numero del personale ricevuto, ai locali di seguito designati:

- a. Sala udienze, sala conferenze, sala riunioni, sala scommesse;
- b. Locale riservato alle associazioni, locale di quartiere (o similare);
- c. Sala proiezioni, sala spettacoli (compresi i circhi non fieristici);
- d. Cabaret;
- e. Sala polivalente a vocazione sportiva, la cui superficie unitaria è maggiore o uguale a 1.200 m², o la cui altezza del soffitto è inferiore a 6,50 m;
- f. Altro locale polivalente, non contemplato dal capitolo XII (impianti sportivi);
- g. Sale multimediali.

Sono assoggettate a questa imposta le istituzioni nelle quali il numero totale dei membri del pubblico ammessi è maggiore o uguale ad una delle seguenti cifre:

- Gli stabilimenti di cui alle lettere a, b, e, f e g:
 - 100 persone nel seminterrato;
 - 200 persone in totale.
- Altri stabilimenti di cui alle lettere c e d:
 - 20 persone nel seminterrato;
 - 50 persone in totale.

Calcolo dell'organico

Normativa contenuta nel libro II, capitolo I, sottocapitolo I, sezione 1, articolo L 3 del'Ar-rêté du 25 juin 1980

Il numero massimo di persone ammesse è determinato come segue:

- Locali di cui all'articolo L 1 (a, b, c):
 - numero di persone sedute su sedili o panchine numerate;
 - numero di persone sedute su panche dove i posti non sono numerati, in ragione di una persona ogni 0,50 m;
 - numero di persone che partecipano ad un evento senza disporre di posti a se-dere o panche, in ragione di 3 persone/mq;
 - numero di persone normalmente stazionate nelle passeggiate e nelle file, in ragione di 5 persone per metro lineare.
- Locali polifunzionali di cui all'articolo L 1 (e, f): una persona/m² di superficie totale della camera.
- Sale riunioni senza spettacolo: una persona/m² della superficie totale della stanza.

Progettazione della distribuzione interna

Normativa contenuta nel libro II, capitolo I, sottocapitolo I, sezione 2, articolo L 6 del'Ar-rêté du 25 juin 1980

La superficie di un compartimento non deve superare 1.200 m².

Terminologia

Normativa contenuta nel libro II, capitolo I, sottocapitolo II, sezione 1, articolo L 18 del'Ar-rêté du 25 juin 1980

La "stanza" è la parte dello stabilimento in cui il pubblico assiste a uno spettacolo, una proiezione, un'audizione o un incontro.

Il "blocco stanze" è l'insieme delle parti dello stabilimento a cui ha accesso il pubblico, ovvero la stanza, le sale, i foyer, gli sgomberi, ecc.

Circolazione nelle stanze

Normativa contenuta nel libro II, capitolo I, sottocapitolo II, sezione 2, articolo L 20 del'Ar-rêté du 25 juin 1980

Nei locali a posti fissi tutti i posti a sedere devono essere disposti in modo da prevedere spazi di larghezza minima di 0,6m. La larghezza dei passaggi nei locali dove i sedili non sono fissi deve essere misurata, con i sedili in posizione occupata.

Uscite

Normativa contenuta nel libro II, capitolo I, sottocapitolo II, sezione 2, articolo L 23 del'Ar-rêté du 25 juin 1980

In uno stabilimento che raggruppa più sale, ogni sala che riceve più di 200 persone deve avere almeno un'uscita verso l'esterno pari a 2 unità di passaggio.

File di sedili

Normativa contenuta nel libro II, capitolo I, sottocapitolo II, sezione 3, articolo L 28 dell'Arrêté du 25 juin 1980

Quando si formano le file di sedili, queste devono essere realizzate:

- la distanza tra le file deve consentire il libero passaggio, in posizione verticale, di una dima di 0,35m di larghezza e 1,20m di altezza.
- o rispettando tutte le seguenti nuove disposizioni:
 - il numero massimo di posti tra due circolazioni è fissato a 50. Per le file di posti servite da un'unica circolazione, il numero di posti è limitato a 8;
 - le uscite devono avere una larghezza minima di tre unità di passaggio;
 - se la sala ha file superiori a 32 posti, i passaggi a servizio di tali file devono essere larghi almeno tre unità di passaggio e la distanza massima da percorrere per raggiungere un'uscita dalla sala non deve superare i 30m.

Mezzi di estinzione

Normativa contenuta nel libro II, capitolo I, sottocapitolo II, sezione 7, articolo L 35 dell'Arrêté du 25 juin 1980

La sala deve essere protetta contro il fuoco:

- mediante estintori portatili ad acqua nebulizzata di almeno 6 litri, posti in prossimità delle uscite, con minimo un dispositivo ogni 200 m² e per livello;
- mediante estintori adeguati ai rischi particolari.

2.3.8. TIPOLOGIE E USI DI ESTINTORI

Ogni estintore ha un'efficacia che dipende dalla causa scatenante dell'incendio. In tal senso, il Comitato Europeo di Normazione (CEN) ha individuato 5 classi di fuoco:

- Fuochi di classe A – Fuochi di solidi: in questa classe rientrano tutti i fuochi generati da materiali come il legno, la carta, i materiali tessili, le pelli, la gomma. Per questa tipologia di incendi sono efficaci estintori ad acqua, CO₂ e ad idrocarburi idrogenati.
- Fuochi di classe B – Fuochi di liquidi: in questa classe rientrano tutti i fuochi generati da materiali quali l'alcol, i solventi, gli oli minerali, gli idrocarburi, le benzine. Per questa tipologia di incendi sono efficaci estintori a CO₂ e ad idrocarburi idrogenati.
- Fuochi di classe C – Fuochi di gas: in questa classe rientrano fuochi generati da metano, butano, idrogeno, acetilene, propilene. Per questa tipologia di incendi sono efficaci estintori a CO₂ e ad idrocarburi idrogenati.
- Fuochi di classe D – Fuochi di metalli: appartengono a questa classe i fuochi generati da potassio, magnesio, zinco, zirconio, titanio. Per questa tipologia di incendi sono efficaci estintori a polvere.
- Nella classe E, rientravano i fuochi scaturiti dalle apparecchiature elettriche. Attualmente, questi non sono più inclusi nella norma UNI EN 2:2005, poiché questi tipi di incendi sono riconducibili alle classi A e B.
- Fuochi di classe F – Fuochi da oli e grassi vegetali o animali: questa classe è riferita ai fuochi generati da oli combustibili di natura vegetale e/o animale quali quelli usati nelle cucine, in apparecchi di cottura. Per questa tipologia di incendi sono efficaci estintori a schiuma.

2.4. ACCESSIBILITÀ

La presente normativa di seguito riportata è un estratto del documento “Les établissements recevant du public - neufs, arrêté du 20 avril 2017” e tiene conto degli aspetti più importanti da considerare durante la progettazione di un edificio in modo tale da non creare barriere architettoniche.

I requisiti normativi sono stabiliti sulla base di una sedia a rotelle occupata le cui dimensioni complessive sono 0,75 mx 1,25 m.

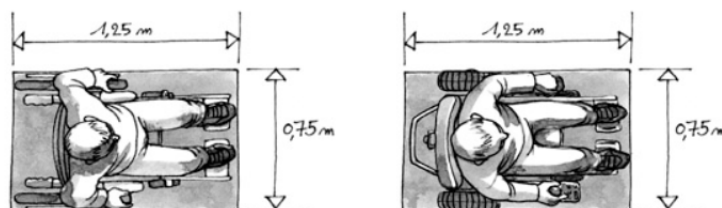


Figura III.2.20. Dimensioni standard sedia a rotelle

Fonte immagine: accessibilite-batiment.fr

2.4.1. RAMPE ESTERNE

Un percorso è accessibile nel momento in cui esso si presenta orizzontale e senza salti, tuttavia, quando non è possibile evitare un dislivello, deve essere prevista una rampa di pendenza minore o uguale al 5% per attraversarlo. Esistono dei casi particolari in cui tale pendenza può essere aumentata:

- fino all'8% su una lunghezza inferiore o uguale a 2 m;
- fino al 10% su una lunghezza inferiore o uguale a 0,50 m.

Nel caso di piano inclinato con pendenza maggiore o uguale al 4% è necessaria una sosta ogni 10 m.

Larghezza di passaggio

La larghezza minima del percorso accessibile è di 1,40 m libero da qualsiasi ostacolo per facilitare l'attraversamento.

Quando non può essere evitato un restringimento temporaneo, la larghezza minima del percorso può essere, su un breve tratto, compresa tra 1,20 m e 1,40 m in modo da mantenere la possibilità di attraversamento di un pedone e una persona su sedia a rotelle.

Uno spazio di manovra con possibilità di inversione di marcia è necessario in ogni punto accessibile del percorso dove viene data all'utente la scelta dell'itinerario.

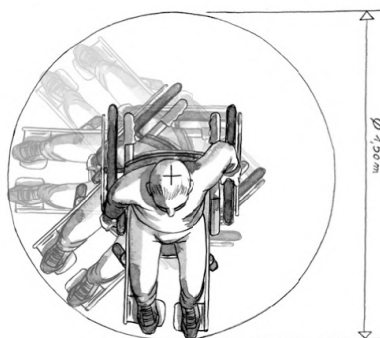


Figura III.2.21. Spazio di manovra sedia a rotelle

Fonte immagine: [accessibilité des établissements recevant du public et installations ouvertes au public](http://accessibilite-des-etablissements-recevant-du-public-et-installations-ouvertes-au-public)

2.4.2. PARCHEGGI

Ogni parcheggio comprende uno o più posti auto adattati alle persone con mobilità ridotta e riservati al loro uso.

I parcheggi adattati sono situati in prossimità di un ingresso, dell'uscita accessibile, della hall di accoglienza o dell'ascensore e collegati a questi da un percorso accessibile.

Nei parcheggi interrati o fuori terra, i posti auto adattati e riservati ai disabili possono essere concentrati su i due livelli più prossimi alla superficie.

I posti adattati destinati alla fruizione pubblica rappresentano almeno il 2% del totale dei posti messi a disposizione del pubblico. Il numero minimo di posti idonei è arrotondato per eccesso. Oltre i 500 posti, il numero dei posti idonei, che non può essere inferiore a 10, è fissato con decreto comunale.

La larghezza minima degli spazi adattati è di 3,30m e la loro lunghezza minima è di 5 m.

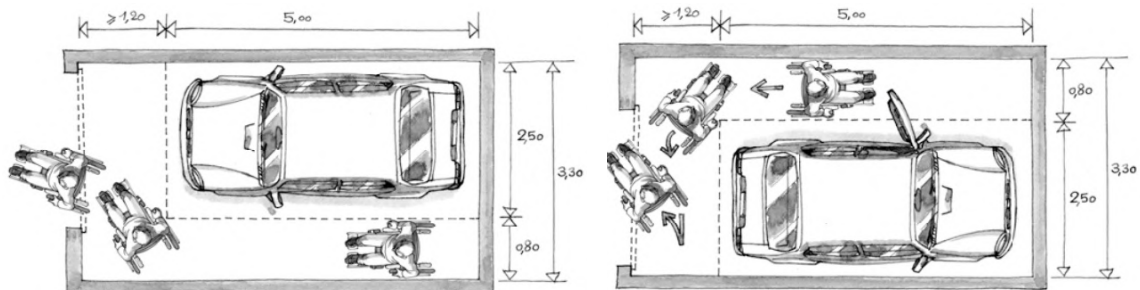


Figura III.2.22. Dimensione dei parcheggi per il passaggio di una sedia a rotelle

Fonte immagine: *accessibilité des établissements recevant du public et installations ouvertes au public*

2.4.3. CIRCOLAZIONE ORIZZONTALE E VERTICALE INTERNA

I percorsi devono avere una larghezza minima di 1,40m in modo da consentire ad una persona su sedia a rotelle l'accesso ai servizi offerti dallo stabilimento.

Scale

Le scale aperte al pubblico in condizioni normali di esercizio soddisfano le seguenti disposizioni, indipendentemente dal fatto che l'edificio sia dotato di ascensore, montacarichi, scala mobile o piano inclinato meccanico:

- la distanza minima tra i corrimani è di 1,20m;
- il primo e l'ultimo gradino sono dotati di alzata con altezza minima di 0,10 m.

Tutti i corrimano devono avere un'altezza compresa tra 0,80m e 1,00m misurata dal gradino.

Tuttavia, quando il parapetto è più alto di 1 m, deve essere presente un corrimano posto ad un'altezza compresa tra 0,80 m e 1,00 m;

Ascensori

Tutti gli ascensori possono essere utilizzati da persone diversamente abili.

L'ascensore è obbligatorio:

- se il numero delle persone ammesse ai piani superiori o inferiori raggiunge o supera le cinquanta persone;
- quando il numero del personale ammesso ai piani superiori o inferiori non raggiunge le cinquanta persone e alcuni servizi non possono essere offerti al piano terra.

L'ascensore ha le seguenti caratteristiche:

- la piattaforma elevatrice deve avere una dimensione utile minima di 0,90m × 1,40m nel caso apertura frontale o su lati opposti, mentre deve essere minimo 1,10m × 1,40m nel caso di servizio ad angolo;
- la porta d'ingresso ha una larghezza nominale minima di 0,90m corrispondente ad una larghezza utile di passaggio di 0,83m.

2.4.4. PORTE, CANCELLI E PORTELLI

Le porte a battente e le porte automatiche possono essere utilizzate in sicurezza da persone con disabilità.

Si riportano di seguito le dimensioni minime degli spazi:

- le porte principali che servono sale o ambienti che possono ospitare 100 o più persone hanno una larghezza utile minima di passaggio di 1,40m. Se le porte sono composte da più ante, la larghezza nominale minima dell'anta comunemente utilizzata è di 0,90m, corrispondente ad una larghezza utile di passaggio di 0,83m;
- le porte a servizio di locali che possono ospitare meno di 100 persone hanno una larghezza nominale minima di 0,90m, corrispondente ad una larghezza utile di passaggio di 0,83m;
- le porte dei servizi igienici non idonei e delle cabine e locali non idonei ad uso individuale hanno una larghezza nominale minima di 0,80m corrispondente ad una larghezza utile di passaggio di 0,77m.

Davanti a ciascuna porta è necessario prevedere uno spazio di manovra, fanno eccezione le porte che si aprono solo su una scala, le porte dei servizi igienici, delle cabine e dei locali per uso privato.

2.4.5. DISPOSIZIONI SANITARIE

Ogni livello accessibile, quando sono previsti servizi igienici per il pubblico, deve comprendere almeno un servizio igienico adattato per disabili in carrozzina e un lavabo accessibile.

Quando sono presenti servizi igienici separati per ciascun sesso, è previsto un servizio igienico accessibile separato per ciascun sesso per ciascun piano contenente servizi igienici. I lavabi o almeno un lavabo per gruppo di lavabi sono accessibili alle persone diversamente abili, così come i vari accessori quali specchi, dosatori di sapone, asciugamani, appendiabiti.

Nel caso in cui non sia presente la separazione per sesso, i vari servizi igienici possono essere raggruppati.

2.5. ACUSTICA

I requisiti di prestazione acustica per i grandi edifici polifunzionali differenziano le performance minime per spazi con destinazione d'uso terziaria e uffici e spazi come invece sale da concerto o sale per grandi eventi sportivi.

2.5.1. GRANDI SALE POLIFUNZIONALI

Gli edifici adibiti per i grandi eventi sportivi e concerti indoor, con un numero di spettatori superiore a 4.000 persone, necessitano particolare attenzione per l'acustica di sala. Nello specifico caso viene fatto riferimento agli Zenith in Francia, nuove tipologie di sale da concerto sviluppatasi a partire dal 1984, dotate di un attento studio delle prestazioni acustiche.

I due aspetti fondamentali che vanno considerati per una buona progettazione sono un buon rapporto fra suono diretto e riverbero in una stanza, entrambe componenti del suono percepito dal pubblico. La prima cosa che sente l'ascoltatore è il suono diretto, che viaggia in linea retta dalla sorgente; a questo segue una serie di prime riflessioni dalle pareti laterali, dal soffitto, ecc. Il suono riflesso deve percorrere un tragitto più lungo e quindi arriverà più tardi; non sarà così forte come la componente diretta. Nelle sale di grandi dimensioni, il numero di riflessioni che arrivano dopo un decimo di secondo dal suono diretto (= 100 ms) è così elevato che le singole riflessioni non sono più distinguibili. Il suono tardivo dopo circa 100 ms è chiamato suono riverberante.

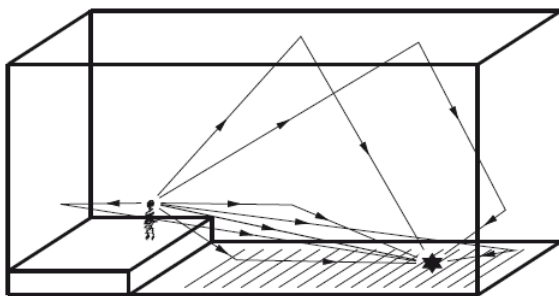


Figura III.2.23. Raggi sonori in ambiente
Fonte immagine: M. Barron, Auditorium Acoustics and Architectural Design

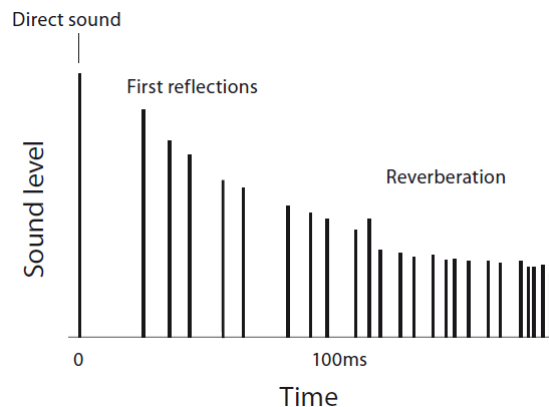


Figura III.2.24. Livello sonoro in funzione del tempo per un suono breve
Fonte immagine: M. Barron, Auditorium Acoustics and Architectural Design

ASSORBIMENTO ACUSTICO

Più grande è la stanza, più tempo ci vuole perché le riflessioni di primo ordine ad alta energia relativa arrivino all'orecchio dell'ascoltatore. Il segnale ritardato deve essere di circa -10 dB rispetto al suono diretto perché sia trascurabile; quindi, per ridurre il livello di una riflessione di 10 dB, l'intensità riflessa deve essere solo il 10% dell'intensità in entrata e l'assorbimento (medio) non deve essere inferiore al 90%, poiché l'assorbimento acustico rimuove energia all'onda sonora. Il requisito più importante per le grandi sale per eventi è quindi una soppressione delle riflessioni di primo ordine. Ciò può essere

ottenuto con materiali assorbenti a banda larga sul soffitto e su tutte le pareti con un coefficiente di assorbimento medio di 0,9 nelle bande di frequenza 63 – 4000 Hz. I dati citati si riferiscono a misurazioni effettuate negli altri Zenith francesi per comparazione.

CALCOLO SEMPLIFICATO DEL TEMPO DI RIVERBERO

Il metodo di calcolo introdotto da Kosten C.W. (1996) nel suo "New method for the calculation of the reverberation time of halls for public assembly" introduce un coefficiente di assorbimento equivalente (α_{eq}) riferito al pubblico più un'aggiunta per tenere conto dell'assorbimento accidentale da parte delle restanti superfici dure della sala. Il coefficiente viene utilizzato per calcolare l'assorbimento totale moltiplicandolo per l'area di seduta acustica (S_T), comprendendo superfici di spalti, parterre e area del palco. L'equazione semplificata di Kosten per il tempo di riverbero in caso di piena occupazione da parte del pubblico (RT) è:

$$RT(s) = \frac{0,16 \cdot V}{S_T \cdot \alpha_{eq}}$$

dove:

- V pari al volume della sala in m³;
- S_T pari all'area di seduta acustica in m²;
- α_{eq} corrispondente al massimo coefficiente di assorbimento equivalente, pari a 1,14 s⁻¹*m. Il valore viene estrapolato per comparazione dalla trattazione di M. Barron, "Auditorium Acoustics and Architectural Design", per casi applicativi su Zenith francesi.

Viene riportato di seguito il calcolo del tempo di riverbero effettuato per lo specifico caso.

$$RT(s) = \frac{0,16 \cdot 41361m^3}{2756m^2 \cdot 1,14s^{-1} \cdot m} = 2,1 s$$

Limite sonoro

Décret n° 98-1143 du 15 décembre 1998, Article 2

In nessun luogo accessibile al pubblico o locali il livello medio di pressione sonora potrà superare i 105 dB(A) e il livello di pressione sonora di picco i 120 dB.

ISOLAMENTO ACUSTICO

Rumore aereo esterno

Article R48-4 du Code de la santé publique, Chapitre 6, Titre 1, Livre 1

I valori ammessi sono calcolati dai valori di 5 decibel A (dB A) durante il giorno (dalle 7:00 alle 22:00) e 3 dB A durante la notte (dalle 22:00 alle 7:00), valori a cui si aggiunge un termine correttivo, dipendente dalla durata cumulativa di comparsa del particolare rumore.

Durata cumulativa della comparsa del particolare rumore	Termine correttivo A in dB
30 secondi < T ≤ 1 minuti	9
1 minuti < T ≤ 2 minuti	8
2 minuti < T ≤ 5 minuti	7
5 minuti < T ≤ 10 minuti	6
10 minuti < T ≤ 20 minuti	5
20 minuti < T ≤ 45 minuti	4
45 minuti < T ≤ 2 ore	3
2 ore < T ≤ 4 ore	2
4 ore < T ≤ 8 ore	1
T ≥ 8 ore	0

Figura III.2.25. Isolamento minimo normalizzato in dB tra locali minimi adiacenti

Nello specifico caso il termine correttivo A è pari a 1, essendo la durata del rumore esterno causato dalla tangenziale in un tempo cumulativo compreso tra le 4 e le 8 ore; in questo modo non vengono smorzati i valori ammissibili.

Rumore aereo interno

NF S 31-199

Questa tipologia di rumore può essere ovviato da una buona progettazione che preveda l'isolamento acustico fra locali adiacenti e nello specifico caso, fra locali con destinazioni d'uso differenti.

Locale emittente	Locale ricevente: sala concerti
Sala per spettacoli	70
Locali d'attività	65
Cabina di regia	55
Spazi di circolazione	50

Figura III.2.26. Isolamento minimo normalizzato in dB tra locali minimi adiacenti

2.5.2. UFFICI

Norma NF S 31-080, Paragraphie 5.3.2, Tableau 3

La normativa mette in relazione le misurazioni della qualità acustica di un ambiente con i livelli di prestazione acustica da raggiungere attraverso le disposizioni costruttive dell'edificio. Per tutte le tipologie di uffici, la norma definisce e classifica l'ambiente sonoro secondo tre livelli prestazionali:

- Livello “Base” corrisponde alle specifiche normative e, in assenza di un testo normativo, al livello minimo di funzionalità senza tuttavia garantire il comfort acustico;
- Livello “Performance”: corrisponde a livelli di performance che vanno oltre i requisiti del livello “Basic”. Questo livello garantisce un certo comfort compatibile con buone condizioni di lavoro;
- Livello “High Performance”: corrisponde alle massime prestazioni rese possibili dalle prescrizioni costruttive (design, architettura, materiali, ecc.). Questo livello mira, per quanto possibile, alla percezione di suoni utili e all'assenza di percezione di rumori inutili.

La progettazione dello specifico caso si rifà a quest'ultima categoria.

Descripteur	Niveau «Courant»	Niveau «Performant»	Niveau «Très Performant»
Niveau Sonore Global dont :	$L_{50} \leq 55$ dB(A)	$40 < L_{50} < 45$ dB(A)	$40 < L_{50} < 45$ dB(A)
— bruits extérieurs	$D_{nT,A,tr} \geq 30$ dB	$D_{nT,A,tr} \geq 30$ dB et $L_{50} \leq 35$ dB(A)	$D_{nT,A,tr} \geq 30$ dB et $L_{50} \leq 30$ dB(A)
— bruits des équipements	$L_{Aeq} \leq 45$ dB(A)	$NR 35 \leq L_p \leq NR 40$	$L_p \leq NR 33$ (permanent) et $L_{max} \leq 35$ dB(A) (intermittent)
Bruits de chocs	$L'_{nTW} \leq 62$ dB	$L'_{nTW} \leq 60$ dB	$L'_{nTW} \leq 58$ dB
Réverbération (Vol < 250 m ³)	$Tr \leq 0,8$ s	$0,6 < Tr < 0,8$ s	$Tr \leq 0,6$ s
Décroissance spatiale (Vol > 250 m ³)	2 dB(A)/doublement si décroissance non applicable : $Tr \leq 1,2$ s	3 dB(A)/doublement si décroissance non applicable : $Tr \leq 1$ s	4 dB(A)/doublement si décroissance non applicable : $Tr \leq 0,8$ s
Isolement au bruit aérien intérieur	$D_{nT,A} \geq 30$ dB	$D_{nT,A} \geq 35$ dB	$D_{nT,A} \geq 40$ dB

Figura III.2.27. Prestazioni acustiche uffici

Fonte immagine: Norma NF S 31-080, Paragraphie 5.3.2, Tableau 3

2.6. ILLUMINAZIONE

Lo standard europeo per l'illuminazione pubblica mira a stabilire i requisiti per le aree di circolazione negli spazi pubblici all'aperto, al fine di garantire la sicurezza degli utenti, la fluidità del traffico e la protezione di cose e persone; si compone di quattro parti:

- Parte 1: RT EN 13201-1 - Selezione delle classi di pavimentazione e requisiti associati.
- Parte 2: EN 13201-2 - Requisiti di prestazione - definisce i requisiti di prestazione fotometrica per le classi di pavimentazione sulla base dei requisiti vigenti nei diversi Paesi europei.
- Parte 3: EN 13201-3 - Calcolo delle prestazioni - fornisce le procedure e i metodi di calcolo necessari per esprimere le prestazioni fotometriche degli impianti di illuminazione pubblica (illuminamenti, luminanze, griglia dei punti di calcolo e di misurazione, calcolo dell'abbagliamento e del rapporto di adiacenza).
- Parte 4: EN 13201-4 - Metodi di misurazione delle prestazioni fotometriche - descrive le convenzioni e le procedure che prevalgono durante l'accettazione degli impianti di illuminazione pubblica. Quest'ultima parte è stata pubblicata come standard nazionale (EN 13201-4).

Una volta definita la classe illuminotecnica dell'area da illuminare nel rapporto tecnico RT EN 13201-1, le tabelle dei requisiti fotometrici della parte 2 della norma (EN 13201-2) indicano i livelli di illuminamento o la luminanza media da mantenere con uniformità generale e longitudinale, la limitazione dell'abbagliamento e il rapporto di adiacenza per l'illuminazione dei bordi.

2.6.1. IMPIANTI SPORTIVI

ILLUMINAZIONE INTERNA DEGLI AMBIENTI

Requisiti generali

EN 12193, Paragraph 6.1, Table 3

- a) Tutti i livelli di illuminamento citati nelle tabelle dell'appendice A della norma si riferiscono all'area principale (PA). Inoltre, quando viene specificata un'area totale (TA), i livelli di luce in quell'area devono essere almeno il 75% di quelli richiesti nell'area principale.
- d) I livelli di illuminamento sono generalmente definiti per le aree orizzontali. Tuttavia, è anche necessario garantire una componente verticale di almeno il 30% del livello di illuminazione orizzontale.

Requisiti specifici

I requisiti specifici dei tipi di sport dipendono dalla classe di illuminazione (I, II o III) considerando il livello di competizione e la distanza di visione per gli spettatori.

- Classe di illuminazione I: Competizioni di alto livello, come le competizioni internazionali e nazionali, che in genere comportano una grande affluenza di spettatori con lunghe distanze potenziali di visione. Anche l'allenamento di alto livello può essere in questa classe.
- Classe di illuminazione II: competizioni di medio livello, come le competizioni di club regionali o locali, che in genere coinvolgono spettatori di medie dimensioni con distanze di visione medie. Anche gli allenamenti di alto livello possono essere inclusi in questa classe.

- Classe di illuminazione III: competizioni di basso livello, come quelle locali o di club di piccole dimensioni, che in genere non coinvolgono spettatori. Anche l'allenamento generale, l'educazione fisica (sport scolastici) e le attività ricreative rientrano in questa categoria.

A seguito di questa classificazione, secondo la normativa, le competizioni internazionali e nazionali ricadono esclusivamente nella Classe di illuminazione I.

Classificazione sport e CTV

EN 12193, Paragraph 6.2, Table 4

Vengono elencati i principali sport praticati in Europa che sono inclusi in questo standard. Per ogni sport è indicato un numero chiave che fa riferimento alla tabella dei requisiti dell'Allegato A e una lettera A, B o C che fa riferimento, quando applicabile, al gruppo di sport per la trasmissione televisiva a colori (CTV). Il Basketball indoor è siglato nella tabella A2, CTV Group B.

Valori illuminotecnici per Basket indoor

EN 12193, Annex A, Table A.2

La Classe I prevede come Illuminamento medio un valore di 750 lux e un fattore di uniformità 0,7 e un general colour rendering index (R_a) pari a 60.

Come prescrizione generale va precisato che gli apparecchi non devono essere posizionati nella parte del soffitto che si trova al di sopra di un cerchio di 4 m di diametro intorno al canestro.

Valori minimi

NF EN 12464-1, Table 1

Per la diagnosi delle installazioni nei luoghi di lavoro, vale la pena notare che, nei siti occupati in modo continuativo, l'illuminamento medio da mantenere non dovrebbe essere inferiore a 200 lux.

Nei locali in cui si svolgono attività lavorative continuative è richiesto un valore minimo di indice di resa cromatica (IRC) pari a 80.

Zones, tâches, activités	Eclairage moyen à maintenir (lux) Valeur minimale	UGR – Valeur maximale	Indice de rendu des couleurs – R_a Valeur minimale
Zone de circulation et couloirs	100	28	40
Escaliers, quai de chargement	150	25	40
Magasins, entrepôts	100	25	60
Magasins de vente, zone de vente	300	22	80
Zone de caisse	500	19	80
Espaces publics, halls d'entrée	100	22	80
Guichets	300	22	80
Restaurants, hôtels	300	22	80
Réception, caisse, concierge			
Cuisines	500	22	80
Bâtiments scolaires, salle de classe en primaire et secondaire	500	19	80
Salle de conférences	500	19	80
Salle de dessin industriel	750	16	80
Eclairage des bureaux :			
– classement	300	19	80
– dactylographie, lecture	500	19	80
– poste CAO	500	19	80
– réception	300	22	80
– archives	200	25	80

Figura III.2.28. Prestazioni illuminotecniche ottimali per spazi differenziati

Fonte immagine: Norma NF EN 12464-1, Table 1

2.7. ENERGETICO

2.7.1. RT2012

Ogni nuovo edificio deve soddisfare un certo livello di prestazioni energetiche. Tali prestazioni sono definite nel regolamento termico RT2012, che pone come limite massimo di consumo energetico a 50 kWhEP/m²an attraverso diversi requisiti.

Tali requisiti sono espressi in termini di energia primaria, da non confondere con l'energia finale. L'energia finale (kWhEF), infatti, è la quantità di energia disponibile per l'utente finale, mentre l'energia primaria (kWhEP) è il consumo necessario per produrre questa energia finale. Per convenzione, per perdite legate alla produzione, trasformazione, trasporto e stoccaggio dell'energia, si attuano le seguenti equivalenze:

- 1 kWhEF = 2,58 kWhEP per l'energia elettrica
- 1 kWhEF = 1 kWhEP per le altre energie (gas, calore, legna, ecc.)

Il regolamento termico 2012 prevede quindi tre requisiti prestazionali:

- il consumo di energia primaria ($C_{ep,max}$);
- Il fabbisogno bioclimatico dell'edificio ($B_{bio,max}$);
- il comfort estivo ($T_{ic,ref}$).

Al fine di poter valutarne correttamente le prestazioni energetiche, l'edificio viene prima classificato secondo la posizione geografica, l'esposizione delle aperture al rumore delle infrastrutture e se i locali sono muniti di sistemi di riscaldamento e/o raffreddamento.

SUDDIVISIONE IN ZONE CLIMATICHE

Secondo l'Allegato I dell' Arrêté du 28 décembre 2012 e dell' Arrêté du 26 octobre 2010, la Francia è stata suddivisa in otto zone climatiche, nelle quali ricadono tutti i dipartimenti. Il dipartimento di Parigi (75) ricade nella zona H1-a.

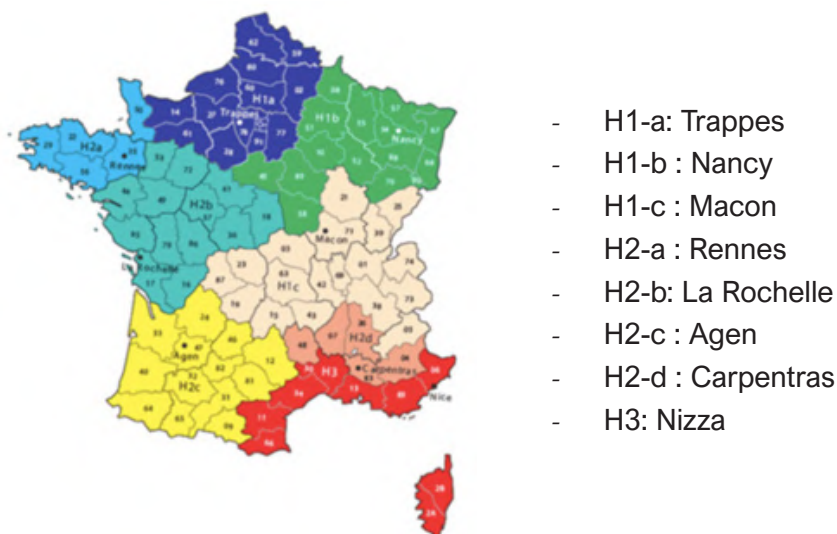


Figura III.2.29. Zone climatiche

Fonte immagine: Répartition des départements par zone climatique

ESPOSIZIONE AI RUMORI

Nell'Allegato II dell' Arrêté du 28 décembre 2012 e dell' Arrêté du 26 octobre 2010, si riporta che la classe di esposizione di una apertura al rumore di un'infrastruttura dipende:

- dalla classificazione della categoria dell'infrastruttura di trasporto terrestre in prossimità dell'edificio,
- dall'ubicazione della apertura rispetto a tali infrastrutture
- dall'ubicazione dell'edificio in relazione alle zone A, B, C o D del piano di esposizione al rumore dell'aeroporto (PEB)

Definizione di barriera

Una barriera viene considerata "altamente protettiva" se si trova a un'altitudine pari o superiore a quella del piano esposto considerato, mentre è "scarsamente protettiva" se si trova a un'altitudine inferiore a quella del piano considerato, pur costituendo una barriera visiva per l'infrastruttura.

Definizione di vista

Una vista diretta è definita come una vista in pianta dell'infrastruttura di oltre 90 gradi, dopo aver sottratto le barriere altamente protettive all'esposizione.

Una vista parziale è definita invece come una vista orizzontale dell'infrastruttura inferiore a 90 gradi, dopo aver sottratto le barriere altamente protettive all'esposizione.

Una vista oscurata dell'infrastruttura si ha infine quando l'infrastruttura non può essere vista dall'apertura, tenendo conto delle barriere di esposizione.

Categoria dell'infrastruttura

Le infrastrutture terrestri di Parigi sono state classificate in cinque categorie, a seconda del livello sonoro di riferimento diurno e notturno. Tale classificazione è contenuta nell' "Arrêté préfectoral du 15 novembre 2000 portant classement acoustique des infrastructures terrestres sur le territoire du département de Paris."

Secondo le indicazioni, il Boulevard Périphérique rientra nella Categoria 1, mentre l'Avenue De la porte de la Chapelle nella Categoria 2 e il Boulevard Ney nella Categoria 3.

Determinazione della classe di esposizione al rumore

Essendo l'edificio posizionato in prossimità di infrastrutture rumorose, viene identificata come classe di esposizione ai rumori la BR3.

Categoria dell'infrastruttura	Distanza dell'apertura [m]						
	0-65	65-125	125-250	250-400	400-550	550-700	>700
Categoria 1	0-65	65-125	125-250	250-400	400-550	550-700	>700
Categoria 2	0-30	30-65	65-125	125-250	250-370	370-500	>500
Categoria 3		0-25	25-50	50-100	100-160	160-250	>250
Categoria 4			0-15	15-30	30-60	60-100	>100
Categoria 5				0-10	10-20	20-30	>30
Vista							
Vista diretta	BR3	BR3	BR3	BR3	BR2	BR2	BR1
Vista parziale	BR3	BR3	BR3	BR2	BR2	BR1	BR1
Vista oscurata	BR3	BR3	BR2	BR2	BR1	BR1	BR1

Figura III.2.30. Classi di esposizione

CATEGORIE CE1 E CE2

All'interno dell'Allegato III dell' Arrêté du 28 décembre 2012 e dell' Arrêté du 26 octobre 2010, si specifica che locale è classificato come CE2 se è dotato di un sistema di raffreddamento e se è soddisfatta una delle seguenti condizioni:

- i locali sono situati in una zona per uffici e i suoi vani sono esposti al rumore BR2 o BR3 o non sono apribili in base ad altre normative;
- i locali sono situati in una zona per uffici e l'edificio è costruito in zone climatiche H1c o H2c a un'altitudine inferiore a 400 m, oppure in zone climatiche H2d o H3 a un'altitudine inferiore a 800 m.
- i locali sono situati in una zona commerciale;
- i locali sono situati in un'area adibita a ristorante;
- i locali sono situati in una zona dell'edificio adibita a tribunale, palazzo di giustizia, palestra, palazzetto dello sport o albergo con una classificazione inferiore o uguale a 3 stelle ai sensi della suddetta ordinanza del 23 dicembre 2009, le cui aperture sono esposte al rumore BR2 o BR3 o non sono apribili ai sensi di altre normative;
- i locali sono situati in un edificio adibito a tribunale, palazzo di giustizia, palestra, palazzetto dello sport o albergo con una classificazione inferiore o uguale a 3 stelle ai sensi della suddetta ordinanza del 23 dicembre 2009, e l'edificio è costruito in zone climatiche H1c o H2c a un'altitudine inferiore a 400 metri, oppure in zone climatiche H2d o H3 a un'altitudine inferiore a 800 metri;

Gli altri locali rientrano nella categoria CE1.

Data l'esposizione al rumore BR3 e le principali funzioni dei locali, essi ricadono in categoria CE2.

Zone à usage	Baies exposées aux zones de bruit	Zones climatiques													
		H1a	H1b	H1c < 400 m	H1c > 400 m	H2a	H2b	H2c < 400 m	H2c > 400 m	H2d < 400 m	H2d > 400 m et < 800 m	H2d > 800 m	H3 < 400 m	H3 > 400 m et < 800 m	H3 > 800 m
Habitation	BR1	CE1													
Enseignement	BR2														
	BR3													CE2	CE2
Bureaux	BR1	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2
Autres concernées par RT 2012	BR1	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2
	BR2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2
	BR3	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	CE2

Figura III.2.31. Categorie CE1 e CE2

Fonte immagine: rt-2012.com

CEP E CEP_{MAX}

All'articolo 4, capitolo 1, titolo I, dell' Arrêté du 28 décembre 2012 e dell' Arrêté du 26 octobre 2010, si definisce Cep come un coefficiente che esprime il consumo energetico convenzionale di un edificio per il riscaldamento, il raffreddamento, la produzione di acqua calda sanitaria, l'illuminazione artificiale dei locali, e impianti ausiliari, meno l'elettricità prodotta in modo permanente, misurato in kWh/m²an di energia primaria. Questo coefficiente Cep è calcolato, su un anno, utilizzando dati climatici convenzionali per ogni zona climatica, secondo i metodi definiti dal metodo di calcolo Th-BCE 2012.

All'articolo 7, capitolo 3, dei medesimi documenti, si considera conforme al presente regolamento termico qualsiasi edificio di nuova costruzione per il quale si dimostri che il coefficiente Cep dell'edificio è inferiore o uguale al coefficiente massimo Cep_{max}, ovvero il fabbisogno massimo di energia primaria convenzionale

Il valore del coefficiente Cep_{max} è di 50 kWhEP/m²an e viene modulato in base alla posizione geografica, all'altitudine, al tipo di utilizzo dell'edificio, alla superficie media delle abitazioni e alle emissioni di gas serra per l'energia da legno e le reti di riscaldamento a minore emissione di CO₂.

Superficie termica

La superficie presa in considerazione è pari alla superficie termica definita dalla normativa termica, S_{RT}, definita all'Allegato III dell' Arrêté du 28 décembre 2012 e dell' Arrêté du 26 octobre 2010. Essa è pari alla superficie utile dell'edificio o parte di esso, moltiplicata per un coefficiente che dipende dall'uso definito di seguito. La superficie utile di un edificio o di una parte di edificio ai sensi della RT, la SU_{RT}, è la superficie costruita dei locali soggetti alle norme termiche, al netto di:

- superfici occupate da pareti, compreso l'isolamento ;
- partizioni fisse previste nei piani;
- pali;
- gradini e scale;
- guaine
- davanzali di porte e finestre;
- parti di locali di altezza inferiore a 1,80 m;
- parti del livello inferiore utilizzate per una scala, una rampa di accesso o in cui si fermano le tramogge di ascensori, montacarichi, pozzi e condotti
- locali tecnici destinati esclusivamente al funzionamento generale dell'edificio e all'occupazione temporanea.

Funzione	Coefficiente moltiplicatore
Uffici	1,1
Ristorazione	1,2
Commercio	1,1
Palestra e palazzetto dello sport, spogliatoi compresi	1,1

Figura III.2.32. Coefficiente moltiplicatore per la S_{RT}

Calcolo Cep_{max}

Il consumo massimo di energia primaria convenzionale dell'edificio o di una parte dell'edificio, Cep_{max} , è determinato, secondo l'Articolo 11 dell' Arrêté du 28 dicembre 2012 e dell' Arrêté du 26 octobre 2010, come segue:

$$Cep_{max} = 50 \cdot M_{ctype} \cdot (M_{cgéo} + M_{calt} + M_{csurf} + M_{cGES})$$

con:

- M_{ctype} : coefficiente di modulazione in funzione del tipo di edificio o parte di edificio e della sua categoria CE1/CE2; definito all'Allegato VIII dell' Arrêté du 28 dicembre 2012 e dell' Arrêté du 26 octobre 2010.

Funzione	Categoria CE1	Categoria CE2
Uffici	1,4	2,2
Ristorazione Commerciale continua	6,8	10
Ristorazione 1 pasto/giorno - 5gg/7	3,6	5
Ristorazione 2 pasti/giorno - 7gg/7	6,6	9,2
Commercio	6,4	10,4
Stabilimento sportivo comunale o privato	2,4	3

Figura III.2.33. Coefficiente di modulazione M_{ctype}

- $M_{cgéo}$: coefficiente di modulazione in base alla posizione geografica; definito all'Allegato VIII dell' Arrêté du 28 dicembre 2012 e dell' Arrêté du 26 octobre 2010.

Funzione	H1a	H1b	H1c	H2a	H2b	H2c	H2d	H3
Uffici	1	1	1	1	1	1	1,2	1,2
Ristorazione Commerciale continua	1	1,1	1,1	1	1	1	1,2	1,1
Ristorazione 1 pasto/giorno - 5gg/7	1	1,1	1,1	1	1	1	1,1	0,9
Ristorazione 2 pasti/giorno - 7gg/7	1	1,1	1,1	1	1	1	1,1	1
Commercio	1	1	1	1	1	1	1,1	1,1
Stabilimento sportivo comunale o privato	1	1,2	1,1	1	1	1	1	0,9

Figura III.2.34. Coefficiente di modulazione $M_{cgéo}$ per categoria CE2

- M_{calt} : coefficiente di modulazione dell'altitudine; definito all'Allegato VIII dell' Arrêté du 28 dicembre 2012 e dell' Arrêté du 26 octobre 2010. Parigi si trova ad una altitudine di 35 m.

Funzione	Da 0 a 400 m	Da 401 a 800 m	Da 801 m
Uffici	0	0,1	0,2
Ristorazione Commerciale continua	0	0	0,1
Ristorazione 1 pasto/giorno - 5gg/7	0	0,1	0,1
Ristorazione 2 pasti/giorno - 7gg/7	0	0	0,1
Commercio	0	0	0
Stabilimento sportivo comunale o privato	0	0,1	0,3

Figura III.2.35. Coefficiente di modulazione M_{calt} per categoria CE2

- M_{csurf} : per uffici di categoria CE2, edifici commerciali e impianti sportivi, coefficiente di modulazione in funzione della superficie dell'edificio o di una parte dell'edificio; definito all'Allegato VIII dell' Arrêté du 28 dicembre 2012 e dell' Arrêté du 26 octobre 2010 (rettificato l'11 dicembre 2014).

Funzione	Se $S_{\text{RT}} < 500 \text{ m}^2$	Se $S_{\text{RT}} \geq 500 \text{ m}^2$	
Uffici	$0,30 - 0,0006 * S_{\text{RT}}$	0	
	Se $S_{\text{RT}} \leq 500 \text{ m}^2$	Se $S_{\text{RT}} > 500 \text{ m}^2$	
Commercio	$(500 - S_{\text{RT}}) / 2400$	0	
	Se $S_{\text{RT}} \leq 1000 \text{ m}^2$	Se $1000 \text{ m}^2 < S_{\text{RT}} \leq 2000 \text{ m}^2$	Se $S_{\text{RT}} > 2000 \text{ m}^2$
Stabilimento sportivo comunale o privato	$-0,0011 * S_{\text{RT}} + 1,4$	$-0,0003 * S_{\text{RT}} + 0,6$	0
Altre funzioni	0	0	/

Figura III.2.36. Coefficiente di modulazione M_{csurf}

- M_{cGES} : coefficiente di modulazione in base alle emissioni di gas serra dell'energia utilizzata; definito all'Allegato VIII dell' Arrêté du 28 dicembre 2012 e dell' Arrêté du 26 octobre 2010.

Contenuto di CO₂ della rete 7501C: 191 g/kWh (Carte de réseaux fornita da France Chaleur Urbaine).

Per uffici e stabilimenti sportivi, se l'edificio o parte di esso è collegato contemporaneamente a una rete di riscaldamento e raffreddamento:

$$M_{cGES} = (M_{cGESchaud} + M_{cGESfroid})/2$$

Uffici	CO₂ ≤ 50	50 ≤ CO₂ ≤ 100	100 ≤ CO₂ ≤ 150	CO₂ ≥ 150
M _{cGESchaud}	0,3	0,2	0,1	0
M _{cGESfroid}	0,3	0,2	0,1	0
Stabilimento sportivo comunale o privato	CO₂ ≤ 50	50 ≤ CO₂ ≤ 100	100 ≤ CO₂ ≤ 150	CO₂ ≥ 150
M _{cGESchaud}	0,15	0,1	0,05	0
M _{cGESfroid}	0,15	0,1	0,05	0

Figura III.2.37. Coefficiente di modulazione M_{cGES} , collegamento contemporaneo

Se l'edificio o parte di esso è collegato a una rete di riscaldamento o raffreddamento:

Uffici	CO₂ ≤ 50	50 ≤ CO₂ ≤ 100	100 ≤ CO₂ ≤ 150	CO₂ ≥ 150
M _{cGES}	0,3	0,2	0,1	0
Stabilimento sportivo comunale o privato	CO₂ ≤ 50	50 ≤ CO₂ ≤ 100	100 ≤ CO₂ ≤ 150	CO₂ ≥ 150
M _{cGES}	0,15	0,1	0,05	0

Figura III.2.38. Coefficiente di modulazione M_{cGES}

In tutti gli altri casi, il coefficiente $M_{cGES} = 0$.

BBIO E BBIO_{MAX}

All'articolo 5, capitolo 1, titolo I, dell' Arrêté du 28 décembre 2012 e dell' Arrêté du 26 octobre 2010, si definisce Bbio come un coefficiente che esprime il fabbisogno energetico bioclimatico convenzionale di un edificio per riscaldamento, raffreddamento e illuminazione artificiale. Esso è adimensionale e viene espresso in punti. Questo coefficiente Bbio è calcolato, su un anno, utilizzando dati climatici convenzionali per ogni zona climatica, secondo i metodi definiti dal metodo di calcolo Th-BCE 2012.

All'articolo 7, capitolo 3, dei medesimi documenti, si considera conforme al presente regolamento termico qualsiasi edificio di nuova costruzione per il quale si dimostri che il coefficiente Bbio dell'edificio è inferiore o uguale al coefficiente massimo Bbio_{max}, ovvero il requisito minimo di efficienza energetica dell'edificio.

Questo requisito impone una limitazione simultanea del fabbisogno energetico per i componenti legati alla progettazione dell'edificio (riscaldamento, raffrescamento e illuminazione), imponendo così la sua ottimizzazione indipendentemente dai sistemi energetici implementati.

Calcolo Bbio_{max}

Il Bbio_{max} dell'edificio o di una parte dell'edificio è determinato, secondo l'Articolo 12 dell' Arrêté du 28 décembre 2012 e dell' Arrêté du 26 octobre 2010, come segue:

$$Bbio_{max} = Bbio_{maxmoyen} \cdot (M_{bgéo} + M_{balt} + M_{bsurf})$$

con:

- Bbio_{maxmoyen}: valore medio del Bbiomax definito per tipo di occupazione dell'edificio o parte di esso e per categoria CE1/CE2; definito all'Allegato VIII dell' Arrêté du 28 décembre 2012 e dell' Arrêté du 26 octobre 2010.

Funzione	Categoria CE1	Categoria CE2
Uffici	70	140
Ristorazione Commerciale continua	140	240
Ristorazione 1 pasto/giorno - 5gg/7	65	100
Ristorazione 2 pasti/giorno - 7gg/7	125	200
Commercio	140	250
Stabilimento sportivo comunale o privato	100	120

Figura III.2.39. Coefficiente di modulazione Bbio_{maxmoyen}

- $M_{bgéo}$: coefficiente di modulazione in base alla posizione geografica; definito all'Allegato VIII dell' Arrêté du 28 dicembre 2012 e dell' Arrêté du 26 octobre 2010.

Funzione	H1a	H1b	H1c	H2a	H2b	H2c	H2d	H3
Uffici	1	1	1	1	1	1	1,2	1,2
Ristorazione Commerciale continua	1	1,2	1,1	1	1	1	1,2	1
Ristorazione 1 pasto/giorno - 5gg/7	0,9	1,1	1,1	0,9	1	0,9	1,2	1,1
Ristorazione 2 pasti/giorno - 7gg/7	1	1,1	1,1	1	1	1	1,2	1
Commercio	0,9	1	1	1	1	1	1,1	1,1
Stabilimento sportivo comunale o privato	1	1,2	1,2	1	1	1	1,1	1

Figura III.2.40. Coefficiente di modulazione $M_{bgéo}$ per categoria CE2

- M_{balt} : coefficiente di modulazione dell'altitudine; definito all'Allegato VIII dell' Arrêté du 28 dicembre 2012 e dell' Arrêté du 26 octobre 2010 (rettificato l'11 dicembre 2014). Parigi si trova ad una altitudine di 35 m.

Funzione	Da 0 a 400 m	Da 401 a 800 m	Da 801 m
Uffici	0	0,2	0,4
Ristorazione Commerciale continua	0	0	0,1
Ristorazione 1 pasto/giorno - 5gg/7	0	0	0,2
Ristorazione 2 pasti/giorno - 7gg/7	0	0	0,1
Commercio	0	0	0
Stabilimento sportivo comunale o privato	0	0,1	0,3

Figura III.2.41. Coefficiente di modulazione M_{balt} per categoria CE2

- M_{bsurf} : per edifici commerciali e impianti sportivi, coefficiente di modulazione in funzione della superficie dell'edificio o di una parte dell'edificio; definito all'Allegato VIII dell' Arrêté du 28 dicembre 2012 e dell' Arrêté du 26 octobre 2010.

Funzione	Se $S_{RT} \leq 500 \text{ m}^2$	Se $S_{RT} > 500 \text{ m}^2$	
Commercio	$(500 - S_{RT})/1300$	0	
	Se $S_{RT} \leq 1000 \text{ m}^2$	Se $1000 \text{ m}^2 < S_{RT} \leq 2000 \text{ m}^2$	Se $S_{RT} > 2000 \text{ m}^2$
Stabilimento sportivo comunale o privato	$-0,0014 * S_{RT} + 1,8$	$-0,0004 * S_{RT} + 0,8$	0
Altre funzioni	0	0	/

Figura III.2.42. Coefficiente di modulazione M_{bsurf}

TIC E TIC_{RÉF}

All'articolo 6, capitolo 1, titolo I, dell' Arrêté du 28 decembre 2012 e dell' Arrêté du 26 octobre 2010, si definisce Tic come un coefficiente che rappresenta il valore orario della temperatura operativa durante il periodo di occupazione, ovvero la temperatura interna convenzionale raggiunta in estate di un ambiente. Questo coefficiente Tic è calcolato, su un anno, utilizzando dati climatici convenzionali per ogni zona climatica, secondo i metodi definiti dal metodo di calcolo Th-BCE 2012.

All'articolo 7, capitolo 3, dei medesimi documenti, si considera conforme al presente regolamento termico qualsiasi zona di categoria CE1, definita in base alla sua destinazione d'uso, per la quale la Tic è inferiore o uguale alla temperatura interna convenzionale di riferimento per la zona, Tic_{réf}.

Questo requisito non si applica alle zone o parti di zone composte esclusivamente da locali di categoria CE2.

Tic_{réf}

La Tic_{réf} è determinata, secondo l'Articolo 13 dell' Arrêté du 28 decembre 2012 e dell' Arrêté du 26 octobre 2010, attraverso il metodo di calcolo Th-BCE 2012.

Nell'Allegato X dei medesimi documenti si specifica che le caratteristiche dell'edificio di riferimento sono quelle utilizzate per il calcolo del Bbio del progetto edilizio, fatta eccezione per le seguenti caratteristiche:

- le superfici ravvicinate di riferimento sono pari a zero;
- l'inerzia giornaliera di riferimento è un'inerzia media secondo il metodo di calcolo Th-BCE 2012;
- l'inerzia sequenziale di riferimento è un'inerzia molto leggera secondo il metodo di calcolo Th-BCE 2012;
- la gestione delle protezioni mobili e delle aperture delle aperture per il comfort termico è presa come riferimento nel funzionamento manuale come descritto nel metodo Th-BCE 2012;
- il fattore solare di riferimento per le pareti opache e i collegamenti periferici è pari a 0,02;
- la trasmittanza luminosa di riferimento è pari al fattore solare di riferimento;
- il fattore solare di riferimento delle aperture è definito nella tabella seguente, in base

alla loro esposizione al rumore, all'orientamento e all'inclinazione, nonché alla zona climatica e all'altitudine.

Zona climatica

Zone H1-a e H2-a	Tutte le altitudini		
Zone H1-b e H2-b	Altitudine > 400 m	Altitudine ≤ 400 m	
Zone H1-c e H2-c	Altitudine > 800 m	Altitudine ≤ 800 m	
Zone H2-d e H3		Altitudine > 400 m	Altitudine ≤ 400 m

Aperture di esposizione BR2 o B23, esclusi i locali a occupazione temporanea

Apertura verticale Nord	0,45	0,25	0,25
Apertura verticale non a Nord	0,25	0,15	0,15
Apertura orizzontale in locali con altezza del soffitto ≤ 5 m	0,15	0,10	0
Apertura orizzontale in locali con altezza del soffitto > 5 m	0,40	0,40	0,40

Aperture di esposizione BR2 o B23, esclusi i locali a occupazione temporanea

Apertura verticale	0,65	0,65	0,45
Apertura orizzontale in locali con altezza del soffitto ≤ 5 m	0,45	0,45	0,45
Apertura orizzontale in locali con altezza del soffitto > 5 m	0,60	0,60	0,60

Figura III.2.43. Fattore solare di riferimento delle aperture

Per le aperture con protezioni mobili, il fattore solare di cui sopra corrisponde al fattore solare e al tasso di trasmissione luminosa dell'apertura con la protezione in posizione. In questo caso, il fattore solare dell'apertura e il tasso di trasmissione luminosa della protezione non installata sono quelli del progetto.

2.7.2. RE2020

Con l'introduzione della RE2020, il governo intende perseguire tre obiettivi fondamentali, ovvero dare priorità alla sostenibilità energetica, garantire il comfort durante i periodi caldi, e ridurre l'impatto di carbonio della costruzione degli edifici.

Infatti, in Francia, il settore dell'edilizia è il più energivoro ed è responsabile di circa un terzo delle emissioni di gas serra, rappresentando quindi una sfida importante nella lotta ai cambiamenti climatici. Per questo motivo, per gli edifici si prospetta di diminuire del 49% le emissioni rispetto al 2015 entro il 2030, per poi raggiungere la decarbonizzazione completa nel 2050. Per le industrie invece, entro il 2030 si ha l'obiettivo di diminuire del 35% le emissioni rispetto al 2015, per poi aumentare all'81% entro il 2050. Inoltre, si intende massimizzare il più possibile l'assorbimento del carbonio utilizzando il suolo e le foreste gestite in modo sostenibile.

La RE2020 introduce quindi, per la prima volta in una normativa, il calcolo delle emissioni di gas serra dell'edificio nel suo intero ciclo di vita e riduce ulteriormente il fabbisogno e il consumo dell'edificio, in particolare l'uso di energia non rinnovabile. Inoltre tiene conto del comfort estivo per limitare l'uso dell'aria condizionata, considerando episodi di ondate di calore, e promuove lo stoccaggio temporaneo del carbonio nei materiali.

Rispetto alla RT2012, vengono definiti nuovi indicatori che tengono conto delle emissioni di carbonio, oltre a modificare i requisiti bioclimatici dell'edificio (Bbio) inserendo sistematicamente il fabbisogno di raffreddamento indipendentemente dal fatto che l'edificio sia climatizzato o meno e sostituendo il valore orario della temperatura operativa durante il periodo di occupazione (Tic) con i gradi-ora di discomfort che rappresentano la somma nell'arco dell'anno di tutti gli scostamenti positivi della temperatura di esercizio rispetto a una soglia di comfort estivo costante (DH).

Gli indicatori definiti dalla normativa, nel Capitolo I del Décret du 29 juillet 2021 e del Décret du 1^{er} Mars 2022, sono quindi:

- Bbio: bisogni bioclimatici dell'edificio (adimensionale, espresso tramite punteggio);
- Cep: consumi dell'edificio in energia primaria (kWhEP/m²an);
- Cep,nr: consumi non rinnovabili dell'edificio in energia primaria (kWhEP/m²an);
- $Ic_{\text{énergie}}$: impatto sull'emissione di carbonio dato dal consumo di energia (kgCO₂eq/m²);
- $Ic_{\text{construction}}$: impatto sull'emissione di carbonio dato dai materiali, attrezzature e costruzioni (kgCO₂eq/m²);
- $Icb_{\text{âtiment}}$: impatto sull'emissione di carbonio dato dall'edificio, senza soglia massima (kgCO₂eq/m²);
- StockC: quantità di carbonio proveniente dall'atmosfera immagazzinata nell'edificio, senza soglia massima (kgCO₂eq/m²);
- Ic_{ded} : impatto sul cambiamento climatico, senza soglia massima (kgCO₂eq/m²);
- DH: gradi-ore di discomfort estivo (°Ch)

Analogamente alla RT2012, l'edificio viene prima classificato secondo la posizione geografica, l'esposizione delle aperture al rumore delle infrastrutture e la presenza di vincoli esterni. Successivamente, saranno valutati i requisiti minimi da rispettare dei soli indicatori che fanno riferimento all'energia ($Bbio_{\text{max}}$, Cep_{max} , Cep,nr_{max} , $Ic_{\text{énergie}_{\text{max}}}$) e al comfort estivo (DH_{max}) per le parti dell'edificio adibite a uffici.

ZONE CLIMATICHE

Definite nel Capitolo IV del Décret du 29 juillet 2021 e del Décret du 1^{er} Mars 2022, le otto zone climatiche sono analoghe a quelle presentate nella RT2012 (si rimanda al paragrafo 2.7.1. RT2012 - Suddivisione in zone climatiche).

CLASSE DI ESPOSIZIONE AL RUMORE

Per la determinazione della classe di esposizione, esposta nella Parte I del Capitolo V del Décret du 29 juillet 2021 e del Décret du 1^{er} Mars 2022, essendo il risultato analogo a quello già ottenuto precedentemente, si rimanda al paragrafo 2.7.1. RT2012 - Esposizione ai rumori, con la sola precisazione che, nel caso di più infrastrutture, viene utilizzata la classe di esposizione al rumore più sfavorevole.

CATEGORIE DI VINCOLI ESTERNI

Rispetto alla RT2012, le categorie CE1 e CE2 vengono sostituite dalle categorie di sollecitazione esterne, definite nella Parte II del Capitolo V del Décret du 29 juillet 2021 e del Décret du 1^{er} Mars 2022.

Un locale è ricade nella categoria 3 se:

- è dotato di un sistema di condizionamento dell'aria, si trova in un'area adibita a ufficio e le norme di sicurezza e di salute vietano l'apertura di tutte le aperture del locale verso l'esterno;
- o se, cumulativamente, è dotato di un sistema di condizionamento dell'aria, si trova in un'area adibita a ufficio e si trova in un grattacielo, ai sensi dell'articolo R. 146-3 del Codice dell'edilizia e dell'abitazione.

Un locale è di categoria 2 se non è di categoria 3 e se, cumulativamente:

- è dotato di un sistema di condizionamento dell'aria;
- le aperture del locale sono esposte al rumore BR2 o BR3;
- l'edificio è costruito in zona climatica H2d o H3 a un'altitudine inferiore a 400 m.

Negli altri casi il locale è di categoria 1.

BBIO_{MAX}

Il valore massimo $Bbio_{max}$ dell'edificio è determinato, nell'Articolo I del Capitolo II del Décret du 29 juillet 2021 e del Décret du 1^{er} Mars 2022, come segue:

$$Bbio_{max} = Bbio_{maxmoyen} \cdot (1 + M_{bgéo} + M_{bcombles} + M_{bsurf_{moy}} + M_{bsurf_{tot}} + M_{bbruit})$$

con:

- $Bbio_{maxmoyen}$: valore del requisito $Bbio_{max}$ per un edificio modello, a seconda della destinazione d'uso dell'edificio o di una sua parte; definito nel Capitolo III, I introdotto dal Décret du 1^{er} Mars 2022.

Funzione	$Bbio_{maxmoyen}$
Uffici	95 punti

Figura III.2.44. Coefficiente di modulazione $Bbio_{maxmoyen}$

- $M_{bgéo}$: coefficiente di modulazione in base alla posizione geografica (area geografica e altitudine) dell'edificio; definito nel Capitolo III, I,3 introdotto dal Décret du 1^{er} Mars 2022.

Altitudine	H1a	H1b	H1c	H2a	H2b	H2c	H2d	H3
< 400 m	0,05	0,10	0,20	-0,05	0	0,10	0,30	0,25
400 m - 800 m	0,25	0,25	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	-0,05
> 800 m	0,45	0,45	0,40	0,40	0,35	0,25	0,30	0,10

Figura III.2.45. Coefficiente di modulazione $M_{bgéo}$

- $M_{bcombles}$: coefficiente di modulazione in base alla superficie del sottotetto convertito dell'edificio o di una parte dell'edificio, per abitazioni singole; definito nel Capitolo III, I,3 introdotto dal Décret du 1^{er} Mars 2022.

$$M_{bcombles} = 0$$

- $M_{bsurf_{moy}}$: coefficiente di modulazione in base alla superficie media delle abitazioni dell'edificio o di una parte dell'edificio, per gli edifici a uso residenziale; definito nel Capitolo III, I,3 introdotto dal Décret du 1^{er} Mars 2022.

$$M_{bsurf_{moy}} = 0$$

- $M_{bsurf_{tot}}$: coefficiente di modulazione in base all'area di riferimento dell'edificio o di una parte dell'edificio; definito nel Capitolo III, I,3 introdotto dal Décret du 1^{er} Mars 2022.

La superficie di riferimento di un edificio o di una parte di edificio, nota come S_{ref} , definita all'Articolo X del Capitolo I del Décret du 29 juillet 2021 e del Décret du 1^{er} Mars 2022, è:

- per un edificio o una parte di edificio utilizzato come abitazione, la superficie abitabile dell'edificio o della parte di edificio;

- per gli altri casi, la superficie utile dell'edificio o della parte di edificio.

Superficie dell'edificio	$M_{\text{bsurf_tot}}$		
	Anno di presentazione della relativa domanda di concessione edilizia		
	2022-2024	2025-2027	Dal 2028
$S_{\text{ref}} \leq 500 \text{ m}^2$	$(24 - 0,06 * S_{\text{ref}}) / B_{\text{bio_maxmoyen}}$	$(24 - 0,06 * S_{\text{ref}}) / B_{\text{bio_maxmoyen}}$	$(24 - 0,06 * S_{\text{ref}}) / B_{\text{bio_maxmoyen}}$
$500 \text{ m}^2 < S_{\text{ref}} \leq 4000 \text{ m}^2$	$(-5,55 - 0,0009 * S_{\text{ref}}) / B_{\text{bio_maxmoyen}}$	$(-4,9 - 0,0022 * S_{\text{ref}}) / B_{\text{bio_maxmoyen}}$	$(-3,8 - 0,0044 * S_{\text{ref}}) / B_{\text{bio_maxmoyen}}$
$4000 \text{ m}^2 < S_{\text{ref}} \leq 10000 \text{ m}^2$	$(-5,55 - 0,0009 * S_{\text{ref}}) / B_{\text{bio_maxmoyen}}$	$(-9,7 - 0,001 * S_{\text{ref}}) / B_{\text{bio_maxmoyen}}$	$(-21,4) / B_{\text{bio_maxmoyen}}$
$S_{\text{ref}} > 10000 \text{ m}^2$	$(-14,55) / B_{\text{bio_maxmoyen}}$	$(-19,7) / B_{\text{bio_maxmoyen}}$	$(-21,4) / B_{\text{bio_maxmoyen}}$

Figura III.2.46. Coefficiente di modulazione $M_{\text{bsurf_tot}}$

Il coefficiente è determinato, per ogni destinazione d'uso dell'edificio, in base alla somma delle superfici delle parti di edificio della destinazione d'uso considerata.

M_{bbruit} : coefficiente di modulazione in funzione dell'esposizione dell'edificio o di una parte dell'edificio al rumore dell'infrastruttura di trasporto nelle vicinanze dell'edificio; definito nel Capitolo III, I,3 introdotto dal Décret du 1^{er} Mars 2022.

	BR1	BR2-BR3	Categoria 3
M_{bbruit}	0	0	0,4

Figura III.2.47. Coefficiente di modulazione M_{bbruit}

CEP_{MAX}, CEP,NR_{MAX} E IC_{ENERGIE_MAX}

I valori massimi di Cep, nr_{max} , Cep_{max} e $Ic_{\text{energie_max}}$ dell'edificio sono determinati, nell'Articolo II del Capitolo II del Décret du 29 juillet 2021 e del Décret du 1^{er} Mars 2022, come segue:

$$Cep, nr_{max} = Cep, nr_{maxmoyen} \cdot (1 + M_{cgéo} + M_{ccombles} + M_{c surf_moy} + M_{c surf_tot} + M_{ccat})$$

$$Cep_{max} = Cep_{maxmoyen} \cdot (1 + M_{cgéo} + M_{ccombles} + M_{c surf_moy} + M_{c surf_tot} + M_{ccat})$$

$$Ic_{\text{energie_max}} = Ic_{\text{energie_maxmoyen}} \cdot (1 + M_{cgéo} + M_{ccombles} + M_{c surf_moy} + M_{c surf_tot} + M_{ccat})$$

con:

- $Cep, nr_{maxmoyen}$, $Cep_{maxmoyen}$, $Ic_{\text{energie_maxmoyen}}$: valori rispettivi dei requisiti Cep, nr_{max} , Cep_{max} e $Ic_{\text{energie_max}}$ per un edificio modello, a seconda della destinazione d'uso dell'edificio o di una sua parte; definiti nel Capitolo III, II introdotto dal Décret du 1^{er} Mars 2022.

I coefficienti $Cep, nr_{maxmoyen}$ e $Cep_{maxmoyen}$ assumono i seguenti valori, a seconda dell'uso della parte di edificio:

Funzione della parte dell'edificio	$Cep, nr_{maxmoyen}$	$Cep_{maxmoyen}$
Uffici	75 kWhEP/m ² an	85 kWhEP/m ² an

Figura III.2.48. Coefficiente di modulazione $Cep, nr_{maxmoyen}$ e $Cep_{maxmoyen}$

- Il coefficiente $Ic_{\text{energie_maxmoyen}}$ assume invece i seguenti valori, a seconda della destinazione d'uso della parte di edificio, dell'anno di presentazione della relativa domanda di concessione edilizia e dell'eventuale allacciamento a una rete di teleriscaldamento:

Funzione della parte dell'edificio ed energia utilizzata	$Ic_{\text{energie_maxmoyen}}$		
	Anno di presentazione della relativa domanda di concessione edilizia		
	2022-2024	2025-2027	Dal 2028
Uffici raccordati a una rete di riscaldamento urbano	280 kgCO ₂ eq/m ²	200 kgCO ₂ eq/m ²	200 kgCO ₂ eq/m ²
Uffici - altri casi	200 kgCO ₂ eq/m ²	200 kgCO ₂ eq/m ²	200 kgCO ₂ eq/m ²

Figura III.2.49. Coefficiente di modulazione $Ic_{\text{energie_maxmoyen}}$

- $M_{cgéo}$: coefficiente di modulazione in base alla posizione geografica (area geografica e altitudine) dell'edificio; definito nel Capitolo III, II,3 introdotto dal Décret du 1^{er} Mars 2022.

Altitudine	H1a	H1b	H1c	H2a	H2b	H2c	H2d	H3
< 400 m	0,05	0,10	0,10	0	0	0	0,15	0,15
400 m - 800 m	0,25	0,25	0,20	0,15	0,15	0,05	0,10	-0,05
> 800 m	0,35	0,40	0,35	0,35	0,30	0,20	0,25	0,10

Figura III.2.50. Coefficiente di modulazione $M_{cgéo}$

- $M_{ccombles}$: coefficiente di modulazione in base alla superficie del sottotetto convertito dell'edificio o di una parte dell'edificio, per abitazioni singole; definito nel Capitolo III, II,3 introdotto dal Décret du 1^{er} Mars 2022.

$$M_{ccombles} = 0$$

- $M_{c surf_moy}$: coefficiente di modulazione in base alla superficie media delle abitazioni dell'edificio o di una parte dell'edificio, per gli edifici a uso residenziale; definito nel Capitolo III, II,3 introdotto dal Décret du 1^{er} Mars 2022.

$$M_{c surf_moy} = 0$$

- $M_{c surf_tot}$: coefficiente di modulazione in base all'area di riferimento dell'edificio o di una parte dell'edificio; definito nel Capitolo III, II,3 introdotto dal Décret du 1^{er} Mars 2022.

Superficie dell'edificio	$M_{b surf_tot}$
$S_{ref} \leq 500 \text{ m}^2$	$(18 - 0,032 * S_{ref}) / Cep, nr_{maxmoyen}$
$500 \text{ m}^2 < S_{ref} \leq 1500 \text{ m}^2$	$(6 - 0,008 * S_{ref}) / Cep, nr_{maxmoyen}$
$S_{ref} > 1500 \text{ m}^2$	$(-6) / Cep, nr_{maxmoyen}$

Figura III.2.51. Coefficiente di modulazione $M_{b surf_tot}$

Il coefficiente è determinato, per ogni destinazione d'uso dell'edificio, in base alla somma delle superfici delle parti di edificio della destinazione d'uso considerata.

- M_{ccat} : coefficiente di modulazione in base alla categoria di sollecitazione esterna dell'edificio; definito nel Capitolo III, II,3 introdotto dal Décret du 1^{er} Mars 2022.

$$M_{ccat} = 0$$

DH_{MAX}

Il valore massimo DH_{max} dell'edificio è determinato, nell'Articolo IV del Capitolo II del Décret du 29 juillet 2021 e del Décret du 1^{er} Mars 2022, come segue:

$$DH_{max} = DH_{maxcat}$$

con:

- DH_{maxcat} : valore del requisito DH_{max} definito dalle categorie di sollecitazione esterna; definito nel Capitolo III, IV,3 introdotto dal Décret du 1^{er} Mars 2022.

	Categoria 1, tranne parti dell'edificio climatizzate nelle zone H2d e H3	Categoria 1 climatizzata nelle zone H2d e H3	Categoria 2	Categoria 3
DH_{maxcat}	1150	2400	2600	Senza soglia

Figura III.2.52. Coefficiente di modulazione DH_{maxcat}

2.7.3. RISULTATI

RT2012

Avendo stabilito le funzioni dell'edificio di progetto, con le relative dimensioni e orientamenti, si illustrano di seguito i valori degli indicatori definiti dalla normativa di riferimento.

Piano	Destinazione d'uso locale	Categoria di funzione	S_{RT} [m²]	Cep_{max} [kWhEP/ m²an]	$Bbio_{max}$ [l]
-1	Security room 1 (ovest)	Uffici	95,7	147,7	140,0
-1	Security room 2 (est)	Uffici	92,4	147,9	140,0
-1	Uffici antidoping	Uffici	42,9	151,2	140,0
-1	Press conference room + commentatori e fotografi	Uffici	322,3	132,7	140,0
-1	Spogliatoio perso- nale di campo	Stabilimento sportivo comunale o privato	69,3	356,1	324,4
-1	Spogliatoio staff 1	Stabilimento sportivo comunale o privato	78,1	354,6	322,9
-1	Spogliatoio staff 2	Stabilimento sportivo comunale o privato	100,1	351,0	319,2

Piano	Destinazione d'uso locale	Categoria di funzione	S _{RT} [m ²]	Cep _{max} [kWhEP/ m ² an]	Bbio _{max} [l]
-1	Spogliatoio allenatori 1-2	Stabilimento sportivo comunale o privato	41,8	360,6	329,0
-1	Spogliatoio atleti 1-2-3-4	Stabilimento sportivo comunale o privato	440,0	294,9	262,1
-1	Biglietteria	Uffici	127,6	145,6	140,0
-1	Negozi 1	Commercio	253,0	573,5	272,5
-1	Negozi 2	Commercio	245,3	573,2	274,0
-1	Merchandising	Commercio	189,2	587,3	284,8
-1	Centro direzionale	Uffici	297,0	134,4	140,0
-1	Ristorante	Ristorazione commerciale continua	303,6	500,0	240,0
-1	Hall palestra	Uffici	59,4	150,1	140,0
-1	Spogliatoi palestra 1-2	Stabilimento sportivo comunale o privato	110,0	349,4	317,5
-1	Palestra	Stabilimento sportivo comunale o privato	1025,2	201,4	166,8
0	Security room	Uffici	94,6	147,8	140,0
0	Accreditation + Competition managing + Ceremony staging + Logistic centre	Uffici	280,5	135,5	140,0
0	Command centre	Uffici	91,3	148,0	140,0
0	Biglietteria 1 (ovest)	Uffici	119,9	146,1	140,0
0	Biglietteria 2 (est)	Uffici	57,2	150,2	140,0
0	Centro direzionale	Uffici	190,3	141,4	140,0
0	Info point	Uffici	78,1	148,8	140,0
0	Ristorante	Ristorazione commerciale continua	312,0	500,0	240,0

Piano	Destinazione d'uso locale	Categoria di funzione	S_{RT} [m ²]	Cep_{max} [kWhEP/m ² an]	$Bbio_{max}$ [l]
0	Negozio 1-2	Commercio	121,0	602,1	297,9
0	Negozio 3	Commercio	96,8	607,4	302,5
0	Merchandising 1	Commercio	242,0	575,9	274,6
0	Merchandising 2	Commercio	95,7	607,6	302,8
+1	Security room	Uffici	95,7	147,7	140,0
+1	Stampa	Uffici	282,7	135,3	140,0
+1	Area ristoro	Ristorazione 1 pasto/giorno - 5gg/7	97,2	250,0	90,0
+1	Sala riunioni	Uffici	259,6	136,9	140,0
+1	Centro direzionale	Uffici	275,0	135,9	140,0
+1	Ristorante	Ristorazione 2 pasti/giorno - 7gg/7	282,0	460,0	200,0
+2	Security room	Uffici	95,7	147,7	140,0
+2	Broadcast	Uffici	282,7	135,3	140,0
+2	Area ristoro	Ristorazione 1 pasto/giorno - 5gg/7	97,2	250,0	90,0
+2	Studio TV	Uffici	550	121,0	140,0
+2	Centro direzionale	Uffici	275,0	135,9	140,0
+2	Ristorante	Ristorazione 2 pasti/giorno - 7gg/7	282,0	460,0	200,0
+2	Bar	Ristorazione commerciale continua	63,6	500,0	240,0

Figura III.2.53. Valori di Cep_{max} e $Bbio_{max}$ suddivisi per locale

Successivamente sono stati sommati i singoli valori come mostrato di seguito.

Categoria di funzione	Cep_{max} totale Piano -1	Cep_{max} totale Piano 0	Cep_{max} totale Piano +1	Cep_{max} totale Piano +2	Cep_{max} totale [kWhEP/m²an]
Uffici	1010	1018	556	540	3123
Stabilimento sportivo comunale o privato	2268	0	0	0	2268
Commercio	1736	2393	0	0	4129
Ristorazione commerciale continua	500	500	0	500	1500
Ristorazione 2 pasti/giorno - 7gg/7	0	0	460	460	920
Ristorazione 1 pasto/giorno - 5gg/7	0	0	250	250	500

Figura III.2.54. Valori di Cep_{max} totali

Categoria di funzione	Bbio_{max} totale Piano -1	Bbio_{max} totale Piano 0	Bbio_{max} totale Piano +1	Bbio_{max} totale Piano +2	Bbio_{max} totale [l]
Uffici	980	980	560	560	3080
Stabilimento sportivo comunale o privato	2042	0	0	0	2042
Commercio	831	1178	0	0	2009
Ristorazione commerciale continua	240	240	0	240	720
Ristorazione 2 pasti/giorno - 7gg/7	0	0	200	200	400
Ristorazione 1 pasto/giorno - 5gg/7	0	0	90	90	180

Figura III.2.55. Valori di Bbio_{max} totali

RE2020

Il Décret du 1^{er} Mars 2022 introduce solo gli edifici con funzione di uffici. Calcolando perciò la differenza tra il risultato ottenuto per gli uffici nella RT2012 e la RE2020, si deducono i valori delle altre funzioni utilizzando tale differenza per i valori ottenuti utilizzando la RT2012.

P	Destinazione d'uso locale	Categoria di funzione	S _{ref} [m ²]	Bbio _{max} [l]	Cep _{max} [kWhEP/ m ² an]	Cep,n- r _{max} [kWhEP/ m ² an]	Ic _{énergie_max} [kgCO ₂ eq/m ²]
-1	Security room 1 (ovest)	Uffici	87	119	106	94	351
-1	Security room 2 (est)	Uffici	84	119	107	94	351
-1	Uffici antidoping	Uffici	39	121	108	96	357
-1	Press conference room + commentatori e fotografi	Uffici	293	106	99	87	326
-1	Spogliatoio personale di campo	Stabilimento sportivo comunale o privato	63	259	262	231	862
-1	Spogliatoio staff 1	Stabilimento sportivo comunale o privato	71	258	261	230	895
-1	Spogliatoio staff 2	Stabilimento sportivo comunale o privato	91	255	258	228	850
-1	Spogliatoio allenatori 1-2	Stabilimento sportivo comunale o privato	38	263	265	234	873
-1	Spogliatoio atleti 1-2-3-4	Stabilimento sportivo comunale o privato	400	210	217	191	714
-1	Biglietteria	Uffici	116	117	105	93	347
-1	Negozio 1	Commercio	230	218	422	372	1389
-1	Negozio 2	Commercio	223	219	423	373	1393
-1	Merchandising	Commercio	172	228	432	381	1422
-1	Centro direzionale	Uffici	270	108	100	88	329
-1	Ristorante	Ristorazione commerciale continua	253	192	368	324	1211
-1	Hall palestra	Uffici	54	121	108	95	355

P	Destinazione d'uso locale	Categoria di funzione	S _{ref} [m ²]	B _{bio} _{max} [l]	Cep _{max} [kWhEP/ m ² an]	Cep,n- r _{max} [kWhEP/ m ² an]	Ic _{énergie_max} [kgCO ₂ eq/m ²]
-1	Spogliatoi palestra 1-2	Stabilimento sportivo comunale o privato	100	254	257	227	846
-1	Palestra	Stabilimento sportivo comunale o privato	932	133	148	131	488
0	Security room	Uffici	89	119	107	94	351
0	Accreditation + Competition managing + Ceremony staging + Logistic centre	Uffici	255	108	100	89	331
0	Command centre	Uffici	83	119	107	94	351
0	Biglietteria 1 (ovest)	Uffici	109	117	106	93	348
0	Biglietteria 2 (est)	Uffici	52	121	108	95	355
0	Centro direzionale	Uffici	173	113	103	91	341
0	Info point	Uffici	71	119	107	94	353
0	Ristorante	Ristorazione commerciale continua	260	192	368	324	1211
0	Negozio 1-2	Commercio	110	238	443	390	1458
0	Negozio 3	Commercio	88	242	446	394	1471
0	Merchandising 1	Commercio	220	220	423	373	1394
0	Merchandising 2	Commercio	87	242	447	394	1471
+1	Security room	Uffici	87	119	106	94	351
+1	Stampa	Uffici	257	108	100	89	330
+1	Area ristoro	Ristorazione 1 pasto/giorno - 5gg/7	81	72	184	162	605

P	Destinazione d'uso locale	Categoria di funzione	S _{ref} [m ²]	Bbio _{max} [l]	Cep _{max} [kWhEP/m ² an]	Cep,n- r _{max} [kWhEP/m ² an]	Ic _{énergie_max} [kgCO ₂ eq/m ²]
+1	Sala riunioni	Uffici	236	110	101	89	333
+1	Centro direzionale	Uffici	250	109	101	89	331
+1	Ristorante	Ristorazione 2 pasti/giorno - 7gg/7	235	160	338	298	1114
+2	Security room	Uffici	87	119	106	94	351
+2	Broadcast	Uffici	257	108	100	89	330
+2	Area ristoro	Ristorazione 1 pasto/giorno - 5gg/7	81	72	184	162	605
+2	Studio TV	Uffici	500	94	92	81	301
+2	Centro direzionale	Uffici	250	109	101	89	331
+2	Ristorante	Ristorazione 2 pasti/giorno - 7gg/7	235	160	338	298	1114
+2	Bar	Ristorazione commerciale continua	53	192	368	324	1211

Figura III.2.56. Valori di Bbio_{max}, Cep_{max}, Cep,nr_{max} e Ic_{énergie_max} suddivisi per locale

Analogamente a quanto fatto per la RT2012, sono stati sommati i singoli valori come mostrato di seguito.

Categoria di funzione	Bbio_{max} totale Piano -1	Bbio_{max} totale Piano 0	Bbio_{max} totale Piano +1	Bbio_{max} totale Piano +2	Bbio_{max} totale [J]
Uffici	810	817	445	429	2501
Stabilimento sportivo comunale o privato	1633	0	0	0	1633
Commercio	665	942	0	0	1607
Ristorazione commerciale continua	192	192	0	192	576
Ristorazione 2 pasti/giorno - 7gg/7	0	0	160	160	320
Ristorazione 1 pasto/giorno - 5gg/7	0	0	72	72	144

Figura III.2.57. Valori di $Bbio_{max}$ totali

Categoria di funzione	Cep_{max} totale Piano -1	Cep_{max} totale Piano 0	Cep_{max} totale Piano +1	Cep_{max} totale Piano +2	Cep_{max} totale [kWhEP/ m^2an]
Uffici	733	737	408	399	2278
Stabilimento sportivo comunale o privato	1667	0	0	0	1667
Commercio	1276	1759	0	0	3035
Ristorazione commerciale continua	368	368	0	368	1103
Ristorazione 2 pasti/giorno - 7gg/7	0	0	338	338	676
Ristorazione 1 pasto/giorno - 5gg/7	0	0	184	184	368

Figura III.2.58. Valori di Cep_{max} totali

Categoria di funzione	Cep, nr_{max} totale Piano -1	Cep, nr_{max} totale Piano 0	Cep, nr_{max} totale Piano +1	Cep, nr_{max} totale Piano +2	Cep, nr_{max} totale [kWhEP/m²an]
Uffici	647	651	360	352	2010
Stabilimento sportivo comunale o privato	1471	0	0	0	1471
Commercio	1126	1552	0	0	2678
Ristorazione commerciale continua	324	324	0	324	973
Ristorazione 2 pasti/giorno - 7gg/7	0	0	298	298	597
Ristorazione 1 pasto/giorno - 5gg/7	0	0	162	162	324

Figura III.2.59. Valori di Cep, nr_{max} totali

Categoria di funzione	Ic_{énergie_max} totale Piano -1	Ic_{énergie_max} totale Piano 0	Ic_{énergie_max} totale Piano +1	Ic_{énergie_max} totale Piano +2	Ic_{énergie_max} totale [kgCO₂eq/m²]
Uffici	2416	2429	1346	1314	7505
Stabilimento sportivo comunale o privato	5491	0	0	0	5491
Commercio	4203	5794	0	0	9997
Ristorazione commerciale continua	1211	1211	0	1211	3632
Ristorazione 2 pasti/giorno - 7gg/7	0	0	1114	1114	2227
Ristorazione 1 pasto/giorno - 5gg/7	0	0	605	605	1211

Figura III.2.60. Valori di Ic_{énergie_max} totali

03

ANALISI CLIMATICHE

3.1. RADIAZIONE SOLARE INCIDENTE

Una volta definita la volumetria dell'edificio, sono state condotte analisi climatiche per determinare la radiazione solare incidente sulle facciate dell'edificio e in questo modo valutare i rapporti di pieni e vuoti del volume, la disposizione degli ambienti, l'aspetto dei fronti e il loro rapporto S/V.

3.1.1. PERCORSO SOLARE E RADIAZIONE MEDIA MENSILE

Le analisi sono state condotte utilizzando il plug-in Ladybug di Grasshopper, integrato con i dati meteo di Energy Plus (Paris Orly 071490, IWECC). Effettuando le analisi con un approccio mensile, viene considerato il periodo compreso tra le 9 e le 18; i risultati sono stati calcolati in kWh/m². Per completezza, oltre al volume dell'edificio, è stato modellato anche l'ambiente circostante per considerare eventuali ombreggiamenti. Tuttavia, è stata introdotta una semplificazione: si è scelto di prendere in considerazione le due situazioni estreme, quali i mesi di luglio e dicembre, in cui la radiazione si trova agli estremi del quantitativo annuale.

La facciata nord, avendo un'esposizione minima a causa della sua inclinazione, presenta bassi valori di radiazione solare incidente (da 5,20 kWh/m² a dicembre a 30,38 kWh/m² a luglio). Per questo motivo, la facciata non richiede dispositivi di ombreggiamento e sarà principalmente opaca. Il suo scopo principale sarà quello di essere riconoscibile dal Boulevard Periferique grazie all'uso di materiali metallici, ma senza distrarre gli automobilisti.

La facciata est ha invece una bassa radiazione solare incidente, poiché l'esposizione al sole riguarda solo le ore del mattino (da 10,39 kWh/m² in dicembre a 45,58 kWh/m² in luglio). Durante la stagione estiva, non si nota un aumento sensibile dei valori di radiazione perché alle 9 del mattino l'altitudine solare è già elevata e quindi la radiazione non raggiunge la superficie in modo uniforme. Tuttavia, saranno necessari sistemi di schermatura per modulare la radiazione solare all'alba, quando il sole è più basso.

Per quanto riguarda il fronte sud dell'edificio, esso non ha un'esposizione uniforme alla radiazione solare a causa della presenza di un edificio situato a pochi metri di fronte ad esso. Per questo motivo, il lato verso est presenta i valori più bassi di radiazione solare incidente, mentre la parte superiore del prospetto e il lato verso ovest presentano i valori più alti (da 20,78 kWh/m² a dicembre a 75,96 kWh/m² a luglio). I sistemi di ombreggiamento sono assolutamente necessari, ma occorre tenere in considerazione la possibilità di mantenere libera la parte inferiore della facciata per guidare gli spettatori verso l'ingresso dell'Arena.

La facciata ovest, poi, mostra un comportamento mutevole nel corso dell'anno, poiché durante l'inverno la radiazione solare incidente ha valori bassi (7,79 kWh/m² a dicembre), mentre durante il periodo estivo si registra un aumento significativo fino a 75,96 kWh/m² a luglio, come la facciata sud. Ciò è dovuto al fatto che in estate l'altitudine solare rimane elevata per un periodo più lungo e anche i raggi bassi del sole al tramonto raggiungono la superficie, aumentando così la radiazione solare totale incidente. Questo comportamento richiede un maggiore controllo dei sistemi di schermatura, che possono adattarsi ai cambiamenti stagionali e filtrare i bassi raggi del sole in estate.

Infine, la copertura presenta durante tutto l'anno valori elevati di radiazione solare totale incidente (da 25,98 kWh/m² a dicembre a 151,92 kWh/m² a luglio). Pertanto, può essere ampiamente sfruttata come superficie di raccolta solare per la produzione di energia, attraverso l'uso della tecnologia fotovoltaica.

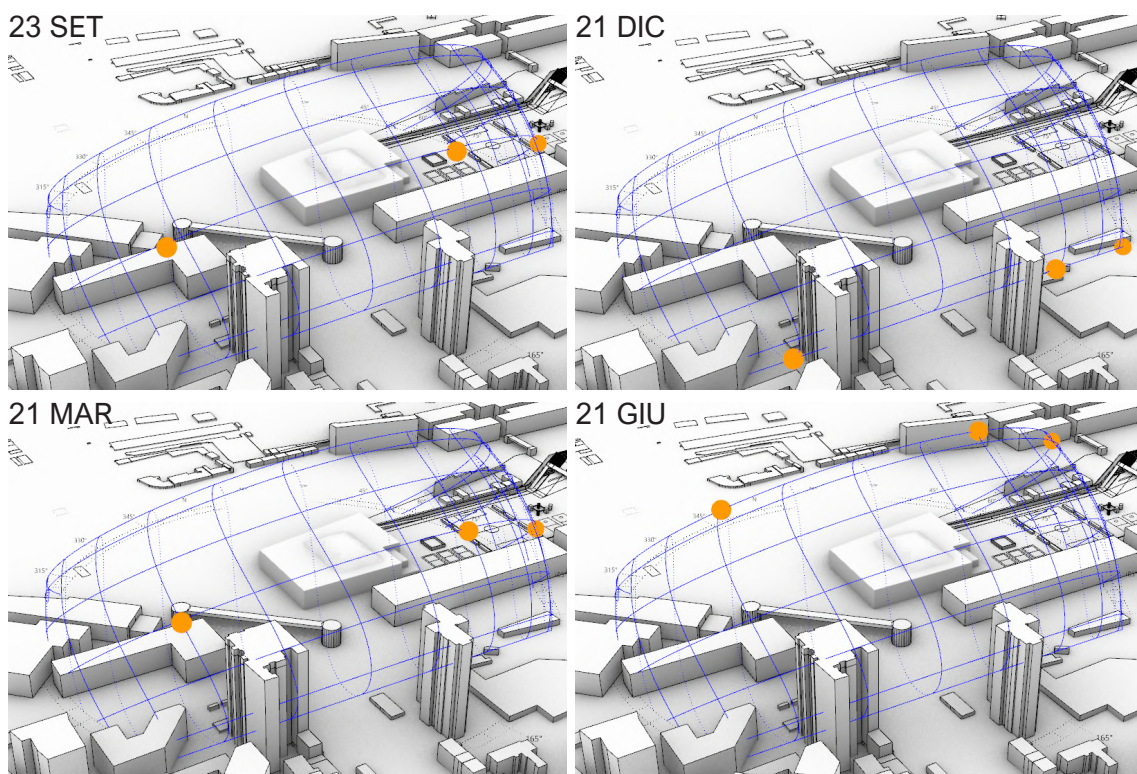


Figura III.3.1. Percorso solare in solstizi ed equinozi

3.2. RAPPORTI PIENI E VUOTI

3.2.1. VALUTAZIONI SUPERFICI OPACHE E TRASPARENTI

A seguito dell'analisi climatica effettuata e della tipologia funzionale prevista all'interno degli ambienti, possiamo trarre differenti conclusioni per la composizione degli spazi interni, per il rapporto fra superfici opache e trasparenti, per l'aspetto dei fronti, visibili dall'esterno e il rapporto con il campo visivo.

La zona nord, trovandosi sempre in ombra, è una zona prevalentemente chiusa, destinata ad ospitare i locali tecnici, spazi logistici e di controllo a servizio dell'arena sportiva. Le superfici trasparenti, seppur in proporzione inferiore rispetto agli spazi opachi, permettono l'ingresso di luce diffusa negli ambienti e spazi di circolazione. Il fronte non necessita di schermature ma deve essere chiaramente riconoscibile dal Boulevard Periferique.

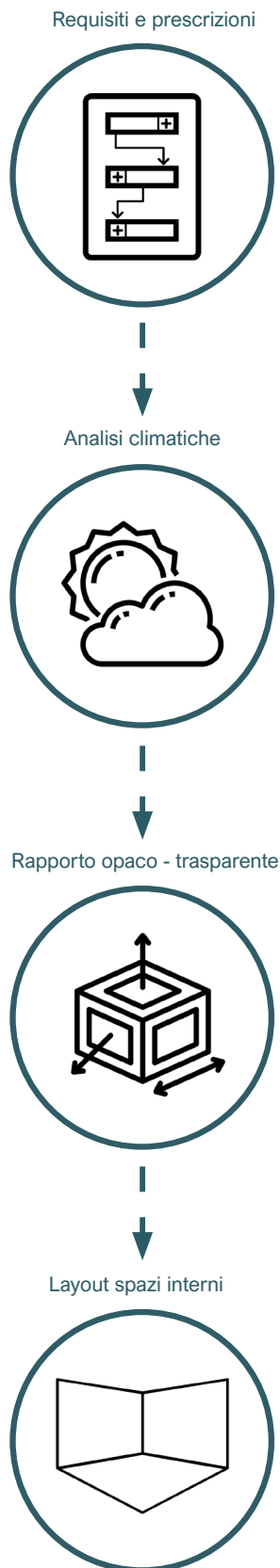
Il lato est è la porzione di edificio che dialoga maggiormente con il contesto urbano, su più livelli: al livello stradale c'è una passerella che collega con rampe alla piazza ribassata. Questo spazio viene dunque sfruttato per ospitare servizi commerciali e di ristorazione e di attività sportive come una palestra cittadina a servizio del fruitore e tali spazi sono principalmente vetrati per invitare i visitatori ad entrare. Il fronte in questione è interessato dalla radiazione solare solo al mattino ed essendo il lato di accesso urbano è aperto verso la piazza ribassata antistante l'arena.

Le zone sud e a ovest necessitano di un differente ragionamento a causa dell'elevato numero di requisiti che devono soddisfare rispetto agli altri prospetti.

Il prospetto sud è caratterizzato da un intenso irraggiamento pomeridiano e deve fungere da cuscinetto termico per stabilizzare la temperatura all'interno dell'arena, anche per la grande affluenza di pubblico all'interno dell'atrio; essendo l'ingresso principale necessita di uno spazio di pertinenza destinato alla circolazione degli utenti, anche per ragioni di accessibilità e sicurezza antincendio. Ospita i servizi security, biglietteria e tutte quelle funzioni che costituiscono il primo controllo per chi vuole entrare nell'arena sportiva: quest'ultima costituisce il cuore della composizione, racchiusa dagli altri edifici e che riceve principalmente luce zenitale.

La facciata ovest deve modulare l'irraggiamento solare, che varia in modo significativo tra l'inverno e l'estate e allo stesso tempo gestire le diverse esigenze del mix funzionale interno previsto, composto da uffici, attività di stampa e spazi di circolazione del pubblico. Inoltre, deve proteggere dalla radiazione solare e isolare acusticamente l'edificio dal rumore generato dal Boulevard Periferique a nord. Pertanto, è necessario un migliore controllo dei sistemi di ombreggiamento. Devono essere in grado di adattarsi ai cambiamenti stagionali e di filtrare i raggi solari bassi in estate, senza compromettere il comfort visivo interno.

Oltre alle condizioni climatiche esterne, la facciata deve soddisfare i requisiti dettati dalla destinazione d'uso degli spazi a cui è applicata. Nel caso di studio, questi spazi sono principalmente uffici e spazi di circolazione pubblica. Di conseguenza, occorre prestare attenzione anche all'illuminazione, al bilancio energetico, alla qualità dell'aria e alla sicurezza degli occupanti. L'attuazione di questi requisiti si riflette nella modellazione dei volumi e nella progettazione degli spazi interni.



Nella pagina seguente sono rappresentati i valori di radiazione massima mensile nel mese di luglio e quelli minimi del mese di dicembre, che hanno permesso di valutare il comportamento e i vari requisiti necessari per il comfort interno dei diversi ambienti interni all'interno dell'arena polifunzionale. Dalle valutazioni, l'output è stato una prima immagine dell'edificio, rappresentato come unico nastro che lega i vari fronti, con rapporti tra elementi opachi e trasparenti, che si riflettono alla vista in facciata.

Il processo di definizione dello spazio interno e del layout funzionale si serve delle analisi climatiche e del conseguente rapporto S/V e opaco-trasparente per coniugare un layout di spazi interni che rispecchi i requisiti e target definiti dalle normative trattate al Capitolo 2 - Normativa di riferimento. In questo modo il progetto architettonico recepisce le prerogative di uno spazio polifunzionale in relazione con l'ambiente circostante.

Figura III.3.2. Processo seguito per la progettazione dell'edificio



Figura III.3.3. Radiazione solare incidente media a Dicembre sui vari fronti dell'edificio



Figura III.3.4. Radiazione solare incidente media a Luglio sui vari fronti dell'edificio

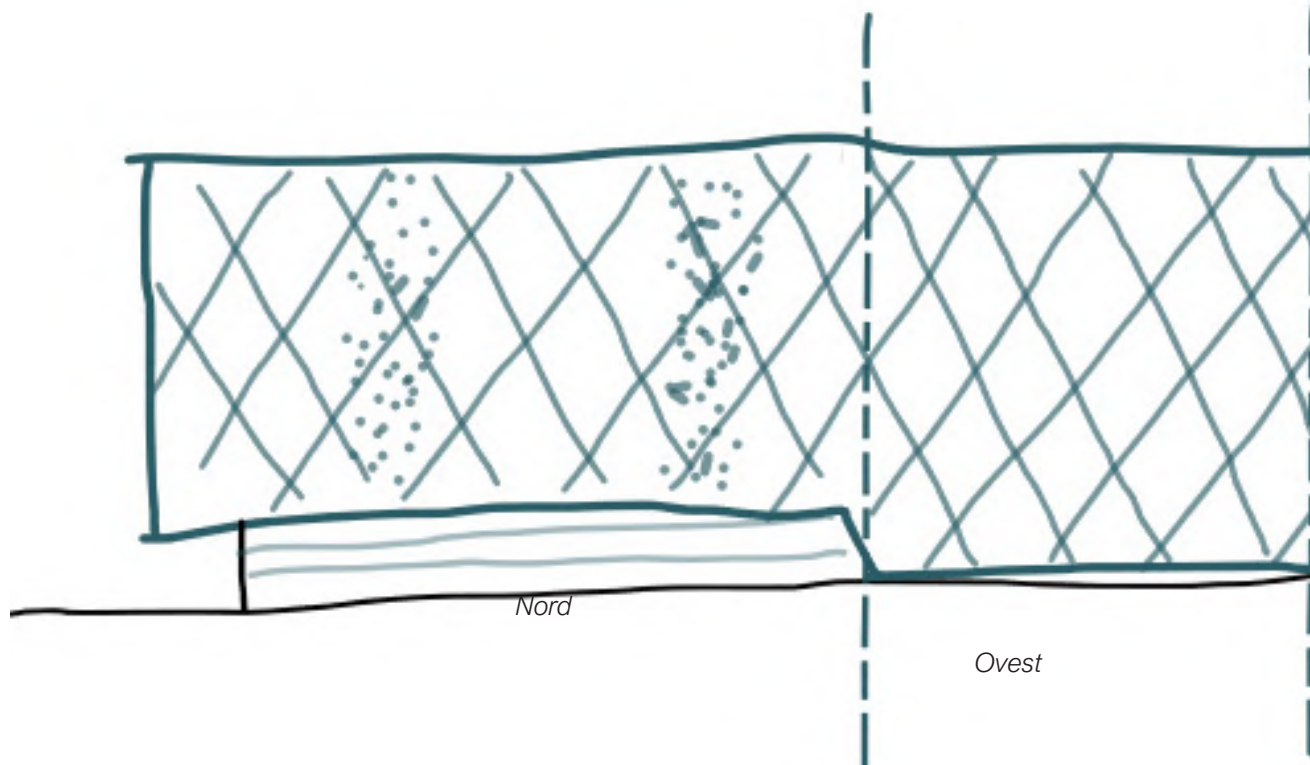
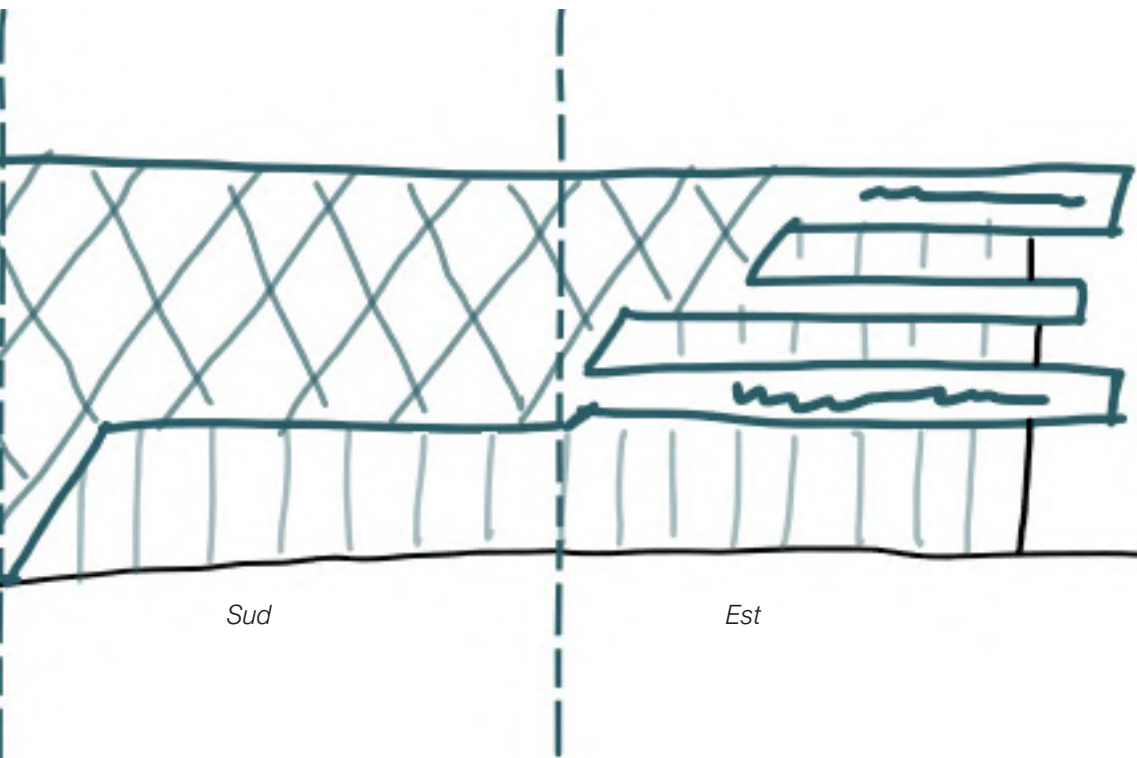
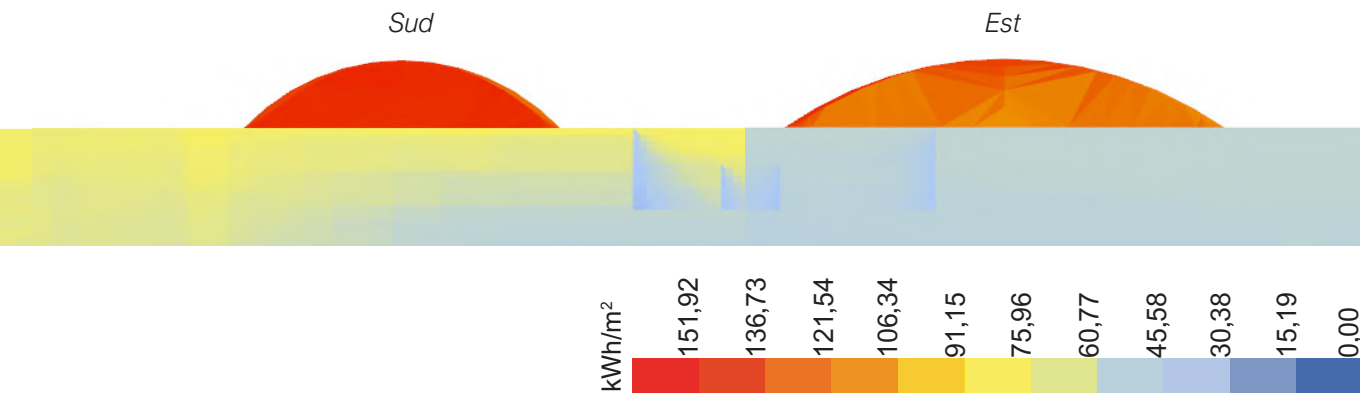
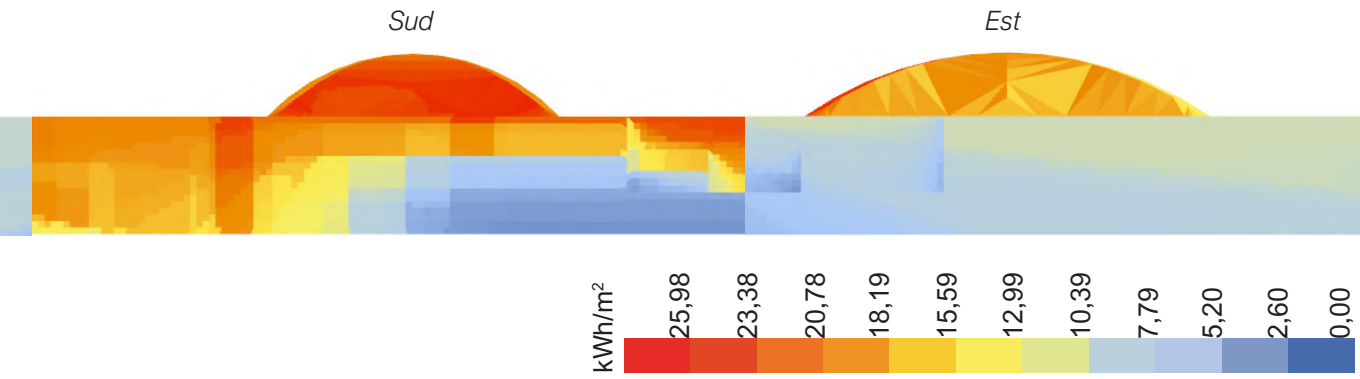


Figura III.3.5. Rapporti fra superfici opache e trasparenti sui fronti dell'edificio



04

PROGETTO ARCHITETTONICO

4.1. COMPOSIZIONE VOLUMETRICA

L'edificio si presenta con forma trapezoidale e si sviluppa su cinque piani, due piani interrati e tre fuori terra; la forma è derivata dal lotto destinato alla costruzione dell'edificio fornito dal bando di progetto del comune di Parigi. Al volume dell'impronta iniziale vengono applicati dei tagli per creare dei blocchi distinti e prendono forma dei terrazzamenti nella parte est per fornire uno spazio esterno con vista sui campi da gioco presenti nella piazza ribassata.

La costruzione è divisa internamente da un canyon a tutt'altezza, che funge da giunto strutturale: questo è coperto da una superficie vetrata in sommità, che richiama l'effetto di un passage parigino e permette l'ingresso di luce zenitale negli spazi di circolazione.

Il cuore dell'edificio è l'arena sportiva che costituisce il volume centrale dell'arena: esso è stato reso piramidale per consentire un maggior passaggio all'ingresso sud situato al piano terra, smussandolo successivamente per creare una forma più organica che seguisse gli spalti interni.

La disposizione e la destinazione d'uso dei vari locali è stata definita partendo dai suggerimenti contenuti nel manuale tecnico pubblicato dal Comitato Olimpico nel 2005. Proprio per questo,

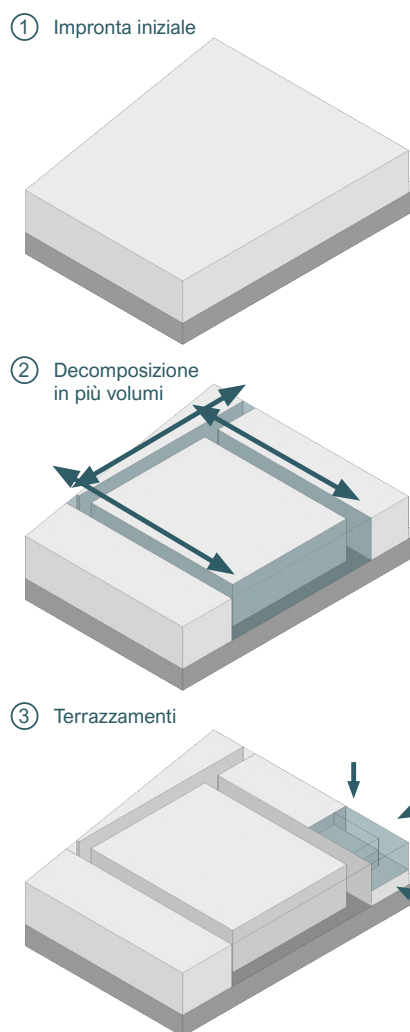
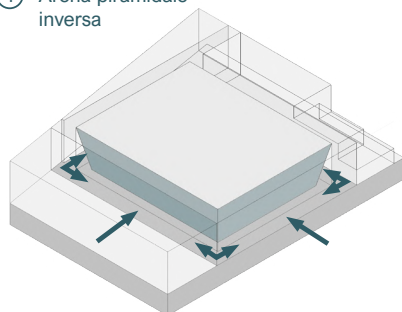
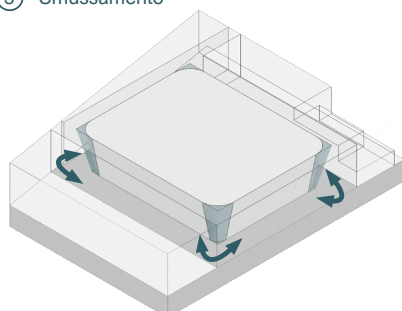


Figura III.4.1. Composizione dei volumi, con pieni e vuoti

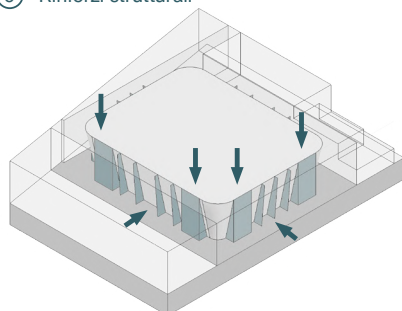
④ Arena piramidale inversa



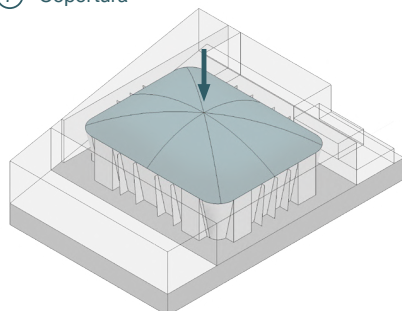
⑤ Smussamento



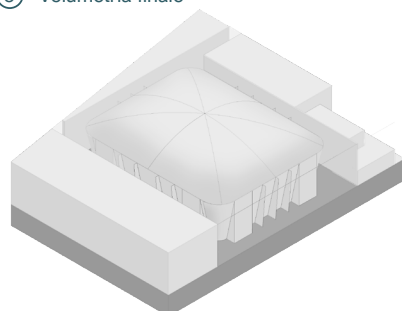
⑥ Rinforzi strutturali



⑦ Copertura



⑧ Volumetria finale



è stata suddivisa in settori per poter permettere alle varie tipologie di flussi di non incrociarsi: ingressi e passaggi fra i piani e all'interno di essi garantiscono alle varie tipologie di utenti di seguire un flusso orizzontale e verticale ordinato. Inoltre, viene tenuto conto di queste regole e della normativa CONI nella progettazione degli spalti, definendo i calcoli per avere una visuale completa da tutti gli spalti. Lo spazio definito all'interno dell'arena contiene un numero totale di persone pari a 2400 persone, che possono accedere allo spazio sportivo.

4.2. PROGETTAZIONE DEGLI SPAZI

Riferimento tavole 17-40

La progettazione degli spazi e lo sviluppo del layout funzionale ha seguito tutte le premesse riguardanti le normative sportive del CONI, antincendio, illuminotecniche, acustiche, energetiche e di accessibilità presenti in questo capitolo.

Pertanto il programma dell'edificio è stato riassunto sinteticamente in questo modo:

- 1630 m² di arena, servizi annessi e spogliatoi nel nucleo centrale;
- nel blocco est 200 m² di palestra comunale, 1680 m² di servizi come ristoranti, merchandising, ecc;
- a nord 800 m² di uffici direzionali;
- a sud grande sala di 400 m²;
- nel blocco ovest 1500 m² di attività di stampa e 280 m² di uffici.

Tuttavia, questa suddivisione non è netta poiché ogni blocco risulta autonomo; tuttavia i tre blocchi interno all'arena forniscono servizi logistici per la stessa.

Il piano -2 è destinato interamente ai parcheggi, per tutte le tipologie di fruitori all'interno dell'edificio: il personale, gli atleti, i tifosi risultano sempre suddivisi in spazi dedicati. Al piano -1 ci sono spazi destinati a atleti, personale di campo e tifosi in quanto c'è accesso diretto al campo di gioco.

Mentre dal piano terra al +2 sono distribuiti i vari spazi a servizio del pubblico, uffici, locali tecnici e

Figura III.4.2. Formazione del blocco centrale arena a piramide inversa

spazi per le trasmissioni sportive. A differenza dei vari blocchi che la circondano, invece, l'arena in sé ha solo due piani, il piano terra che permette l'accesso al primo anello e il primo piano che tramite un sistema di passerelle permette di raggiungere il secondo anello. Di seguito sono illustrate le funzioni specifiche dei vari ambienti.

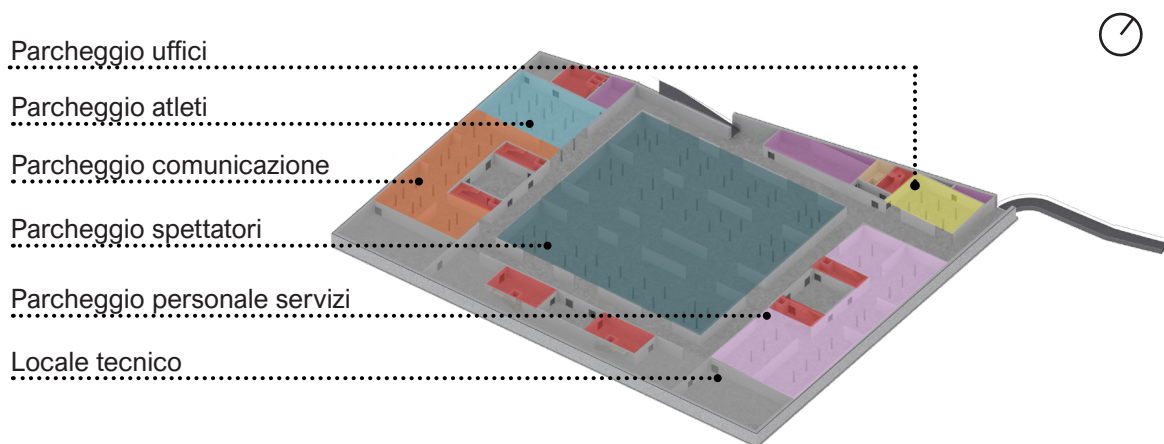


Figura III.4.3. Layout funzionale piano -2

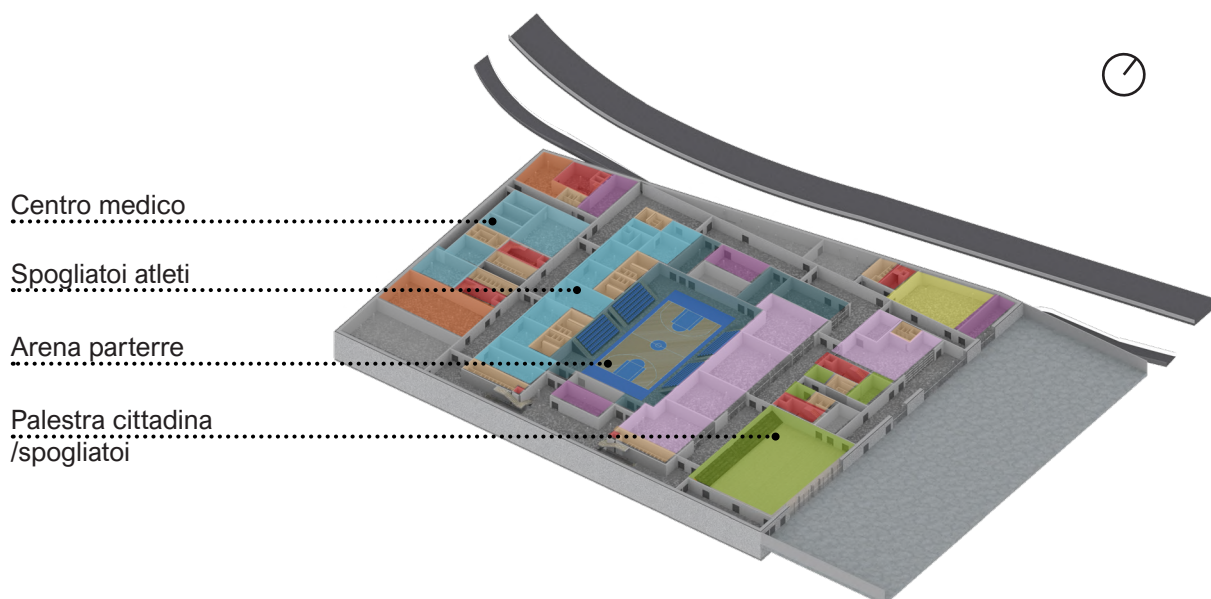


Figura III.4.4. Layout funzionale piano -1

	Comunicazione
	Uffici
	Spettatori
	Atleti
	Servizi
	Collegamenti verticali
	Palestra cittadina
	Terrazza
	Locale tecnico
	Bagni

Nelle tavole 38-40 è possibile visualizzare lo spazio interno tramite sezione trasversale e longitudinale dell'edificio, oltre ad avere la resa estetica finale dell'edificio tramite i prospetti dei vari fronti, definiti a seguito della caratterizzazione tecnologica dell'involucro.

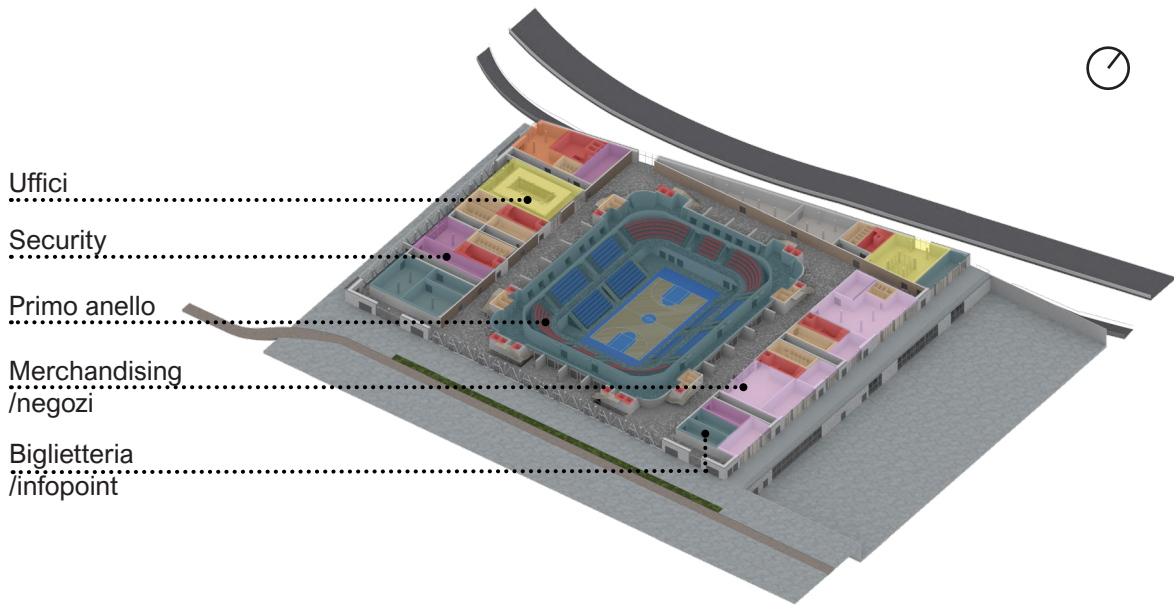


Figura III.4.5. Layout funzionale piano terra

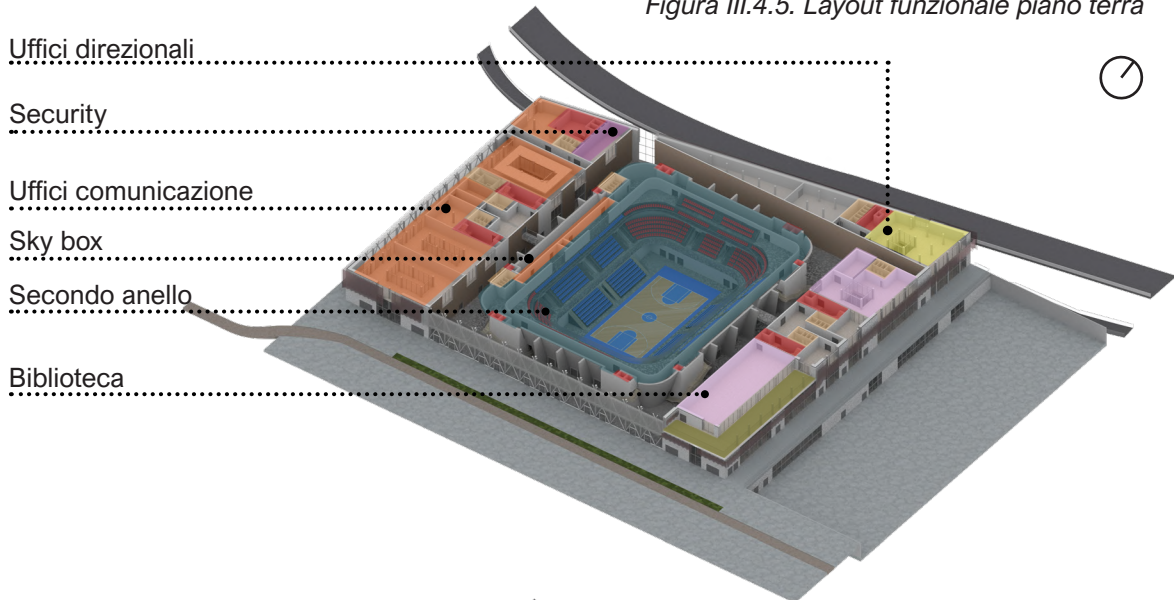


Figura III.4.6. Layout funzionale piano +1

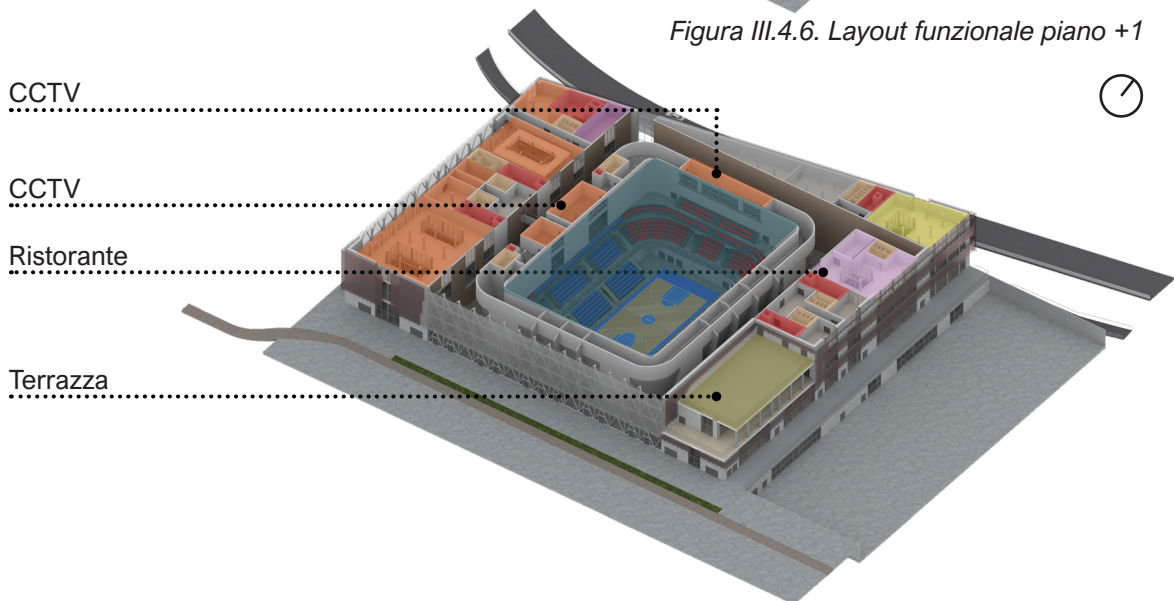


Figura III.4.7. Layout funzionale piano +2



Figura III.4.8. Prospetto nord

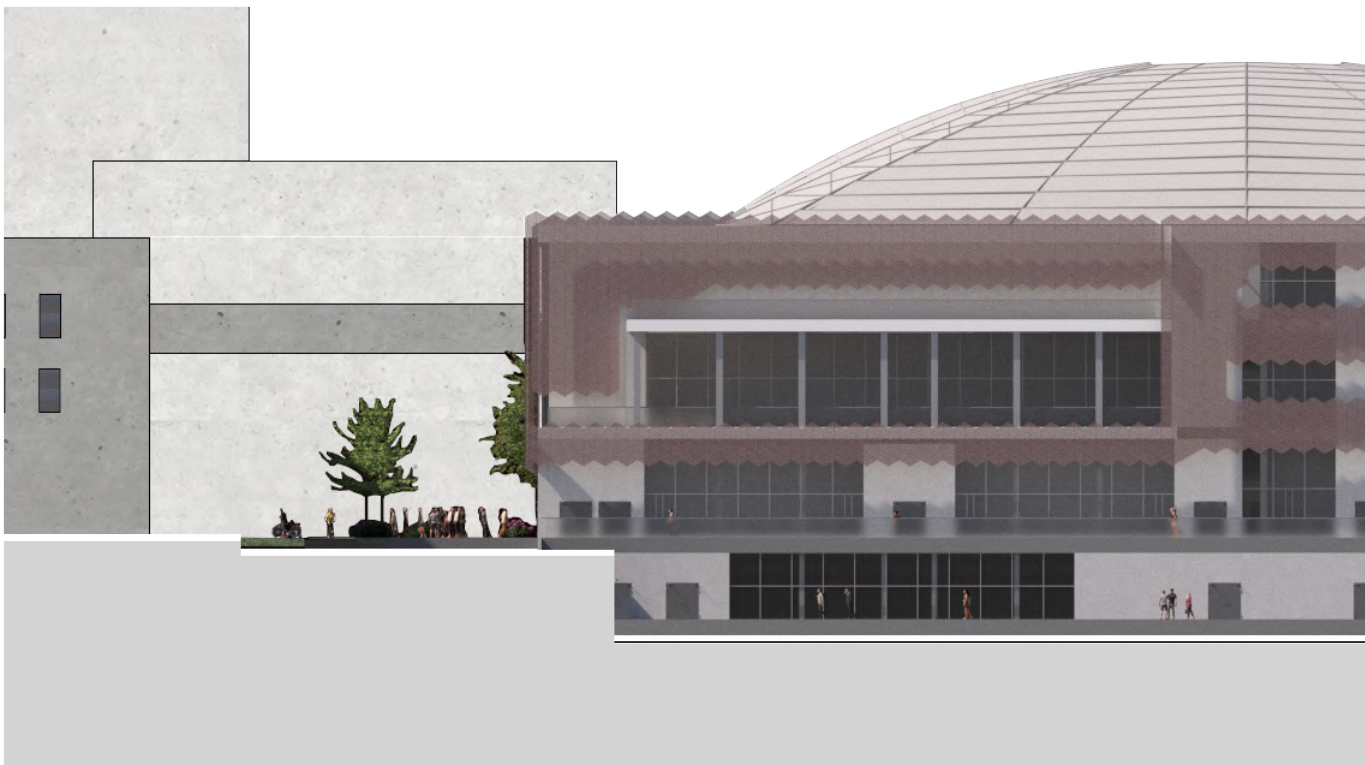


Figura III.4.9. Prospetto est

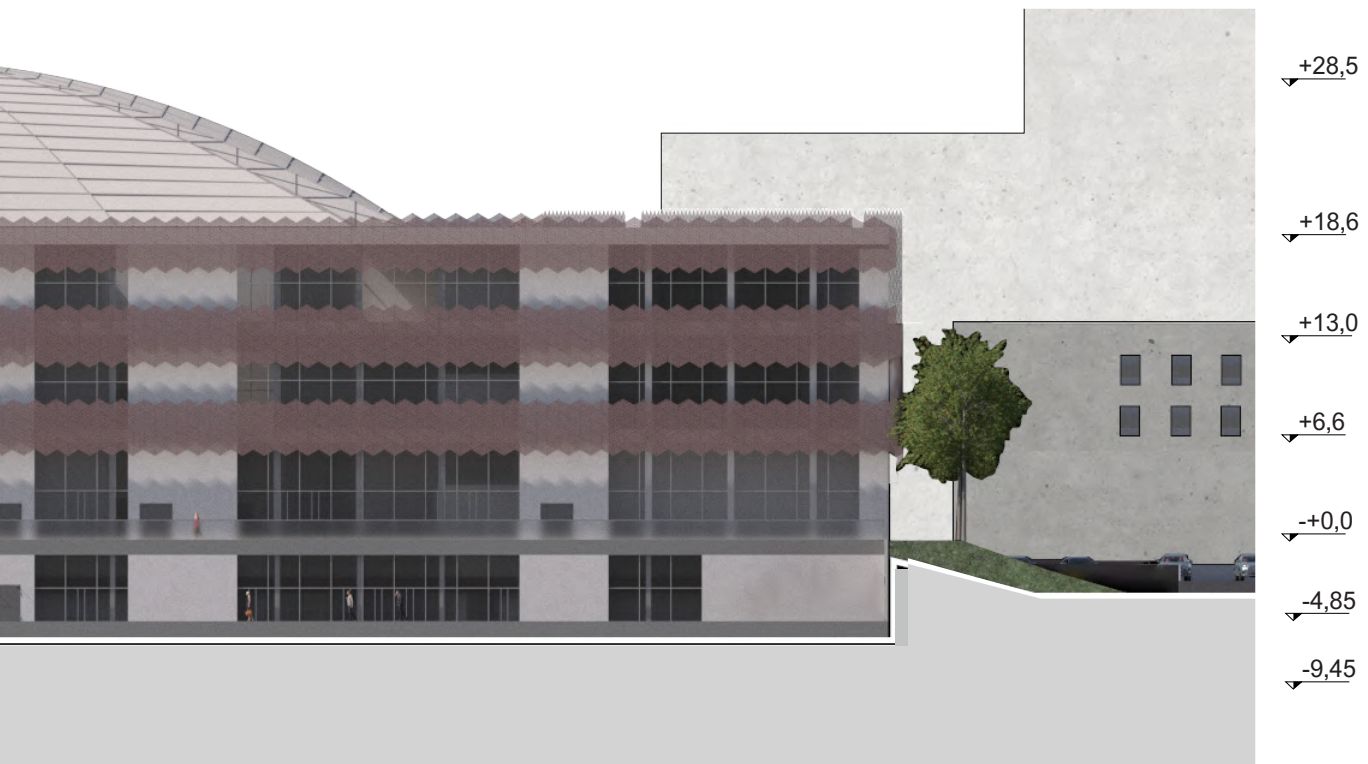




Figura III.4.10. Prospetto sud



Figura III.4.11. Prospetto ovest

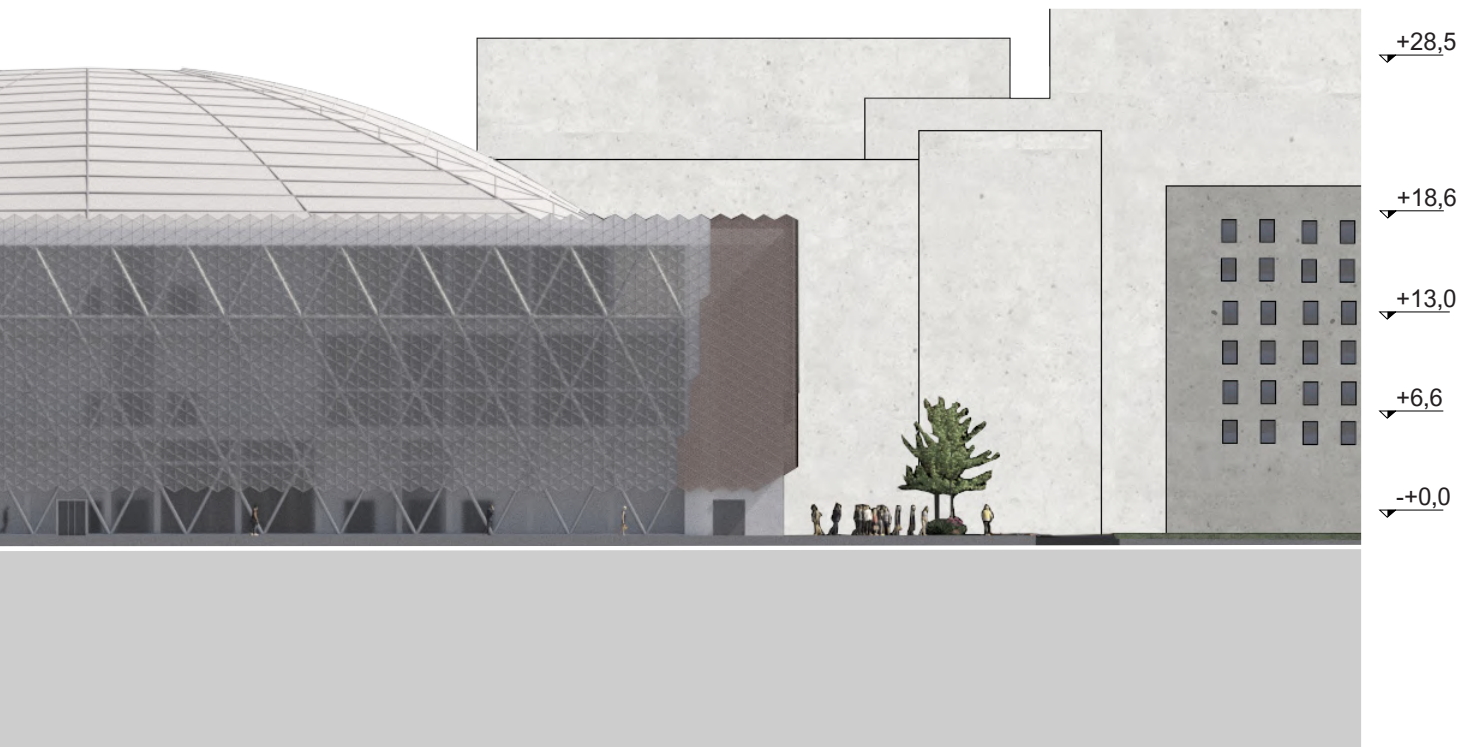




Figura III.4.12. Vista esterna dell'edificio dalla piazza di ingresso



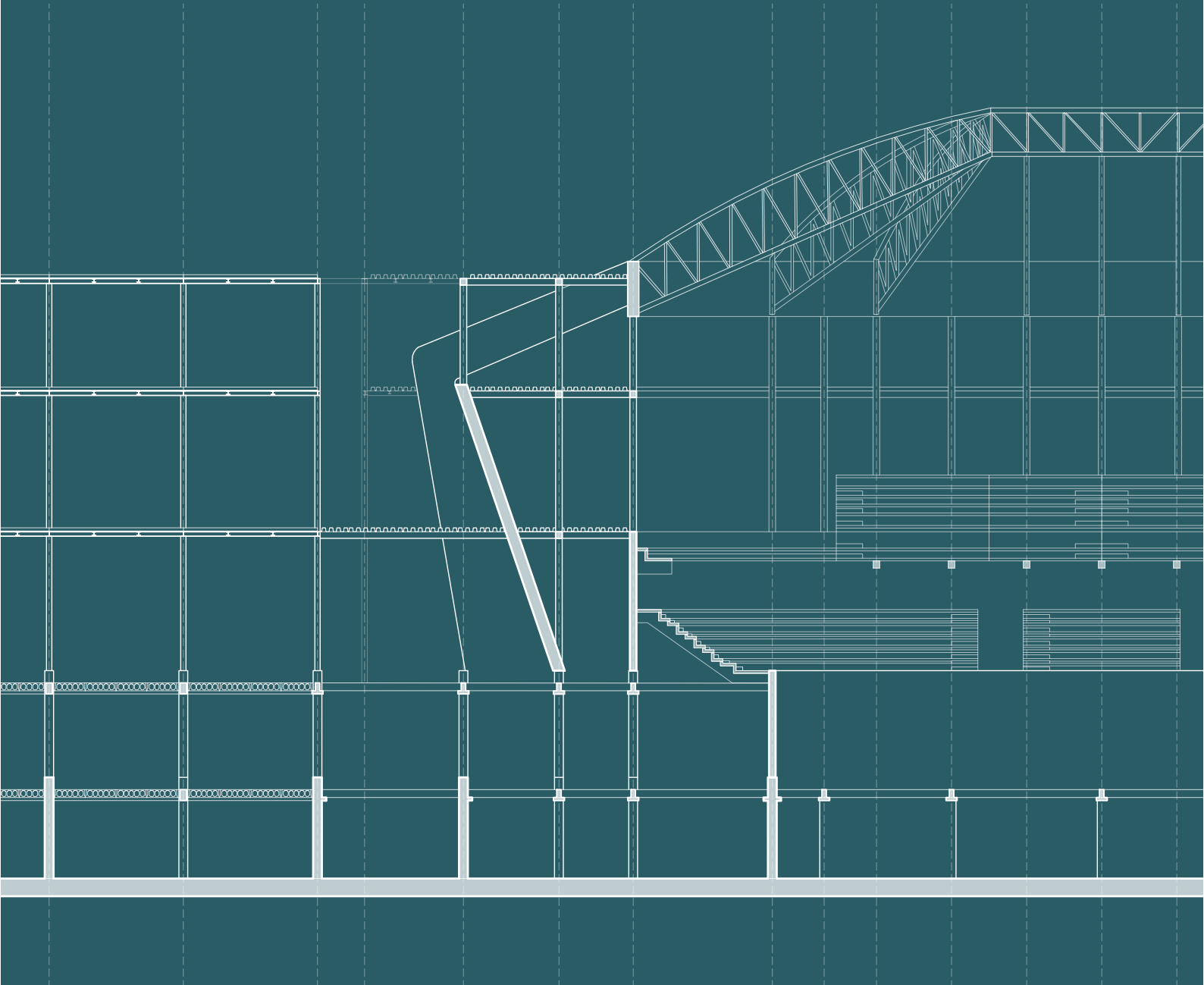


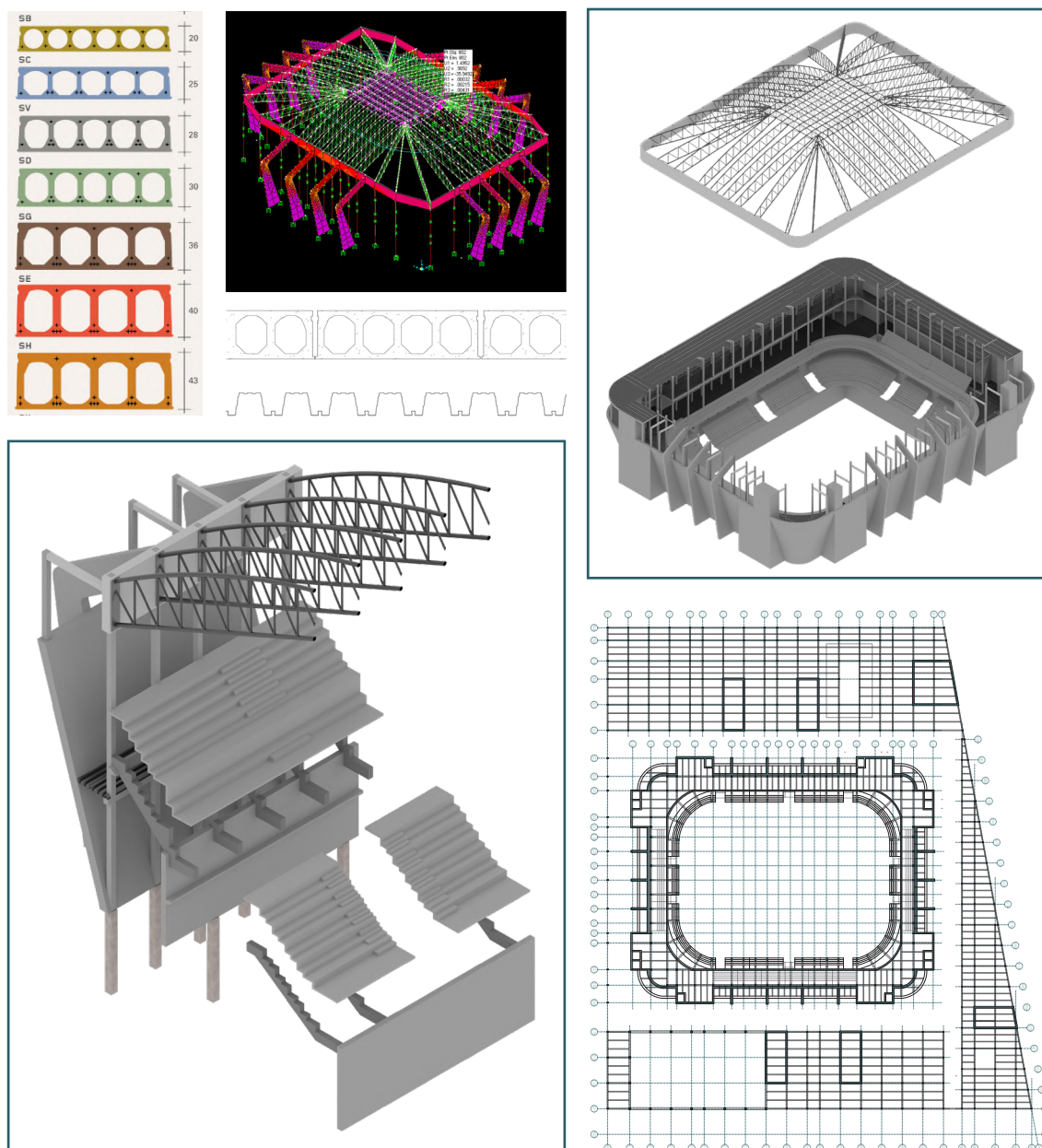
Figura III.4.13. Vista interna dell'arena sportiva



IV

STRUTTURALE





Premessa

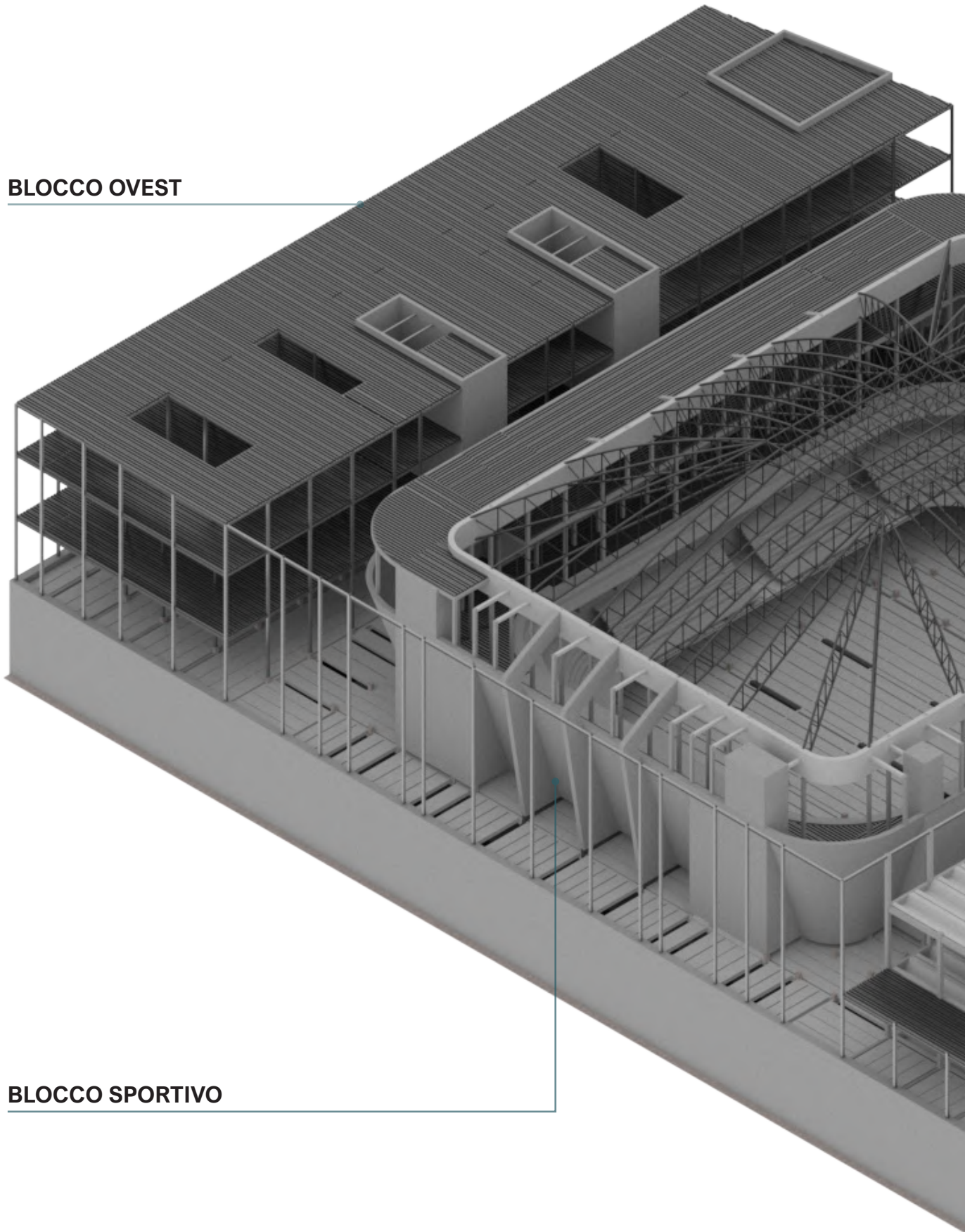
Il capitolo si apre con la trattazione dei calcoli relativi al materiale acciaio, caratterizzante il blocco ovest, nord ed est. Sono stati dimensionati solai, travi secondarie e primarie interpiano e di copertura, pilastri.

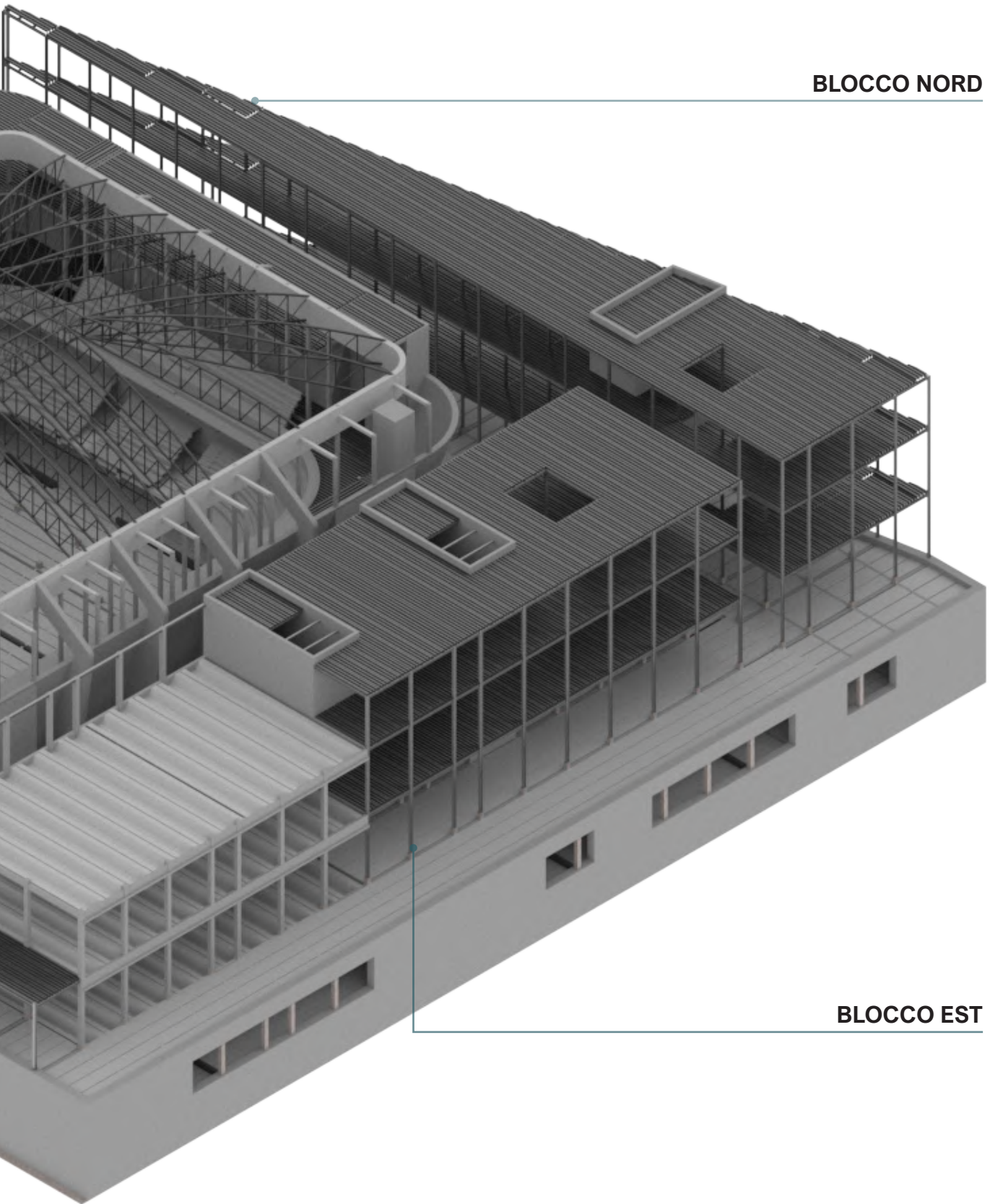
Tali studi sono stati eseguiti in accordo con la normativa italiana tramite NTC2018.

Segue l'analisi del blocco sportivo di cui in primis si è analizzato qualitativamente il sistema di spalti in calcestruzzo prefabbricato seguendo le indicazioni del produttore, successivamente si è andati a studiare la copertura, in quanto caratterizzata da una struttura complessa che ha richiesto una modellazione specifica nel software di calcolo SAP2000. Infine, sono stati dimensionati i pilastri in cemento armato nei piano interrati -1 e -2.

BLOCCO OVEST

BLOCCO SPORTIVO





BLOCCO NORD

BLOCCO EST

01

BLOCCO OVEST

Per progettare la struttura dell'edificio si è partiti dall'analisi dei carichi agenti sul progetto, si riporta in modo esteso la procedura seguita per la definizione della struttura in acciaio del blocco ovest, mentre per il blocco est e nord si riporteranno solo le tabelle riassuntive in quanto il metodo di calcolo usato è il medesimo.

Per i calcoli si è fatto riferimento alle NTC2018.

1.1. ANALISI DEI CARICHI

Si determinano i carichi permanenti non strutturali G2, i carichi permanenti strutturali G1 e i carichi variabili Q.

1.1.1. CARICO PERMANENTE NON STRUTTURALE G2

Per stabilire i carichi G2 si è scelto di considerare i pacchetti tecnologici più pesanti, in modo da effettuare i calcoli a regime di sicurezza; si riportano quindi di seguito i valori delle stratigrafie utilizzate per i calcoli.

Per il calcolo del carico G2 dei pacchetti verticali è necessario considerare oltre allo spessore del singolo componente stratigrafico e del suo relativo peso specifico anche l'altezza di interpiano a partire dall'estradosso del solaio strutturale inferiore all'intradosso di quello superiore, tale valore è 6,6m ovvero l'altezza interpiano maggiore tra quelle presenti nell'edificio.

Per calcolare il G2 dei profili a C sono stati considerati il passo tra le C e l'area del profilo stesso.

Partizione verticale: Parete tra spazio di circolazione e edifici terziari

Strato	Spessore	Peso	Peso
	s	specifico	G2
	m	kN/m ³	kN/m ²
Finitura in stucco a base vinilica KNAUF	0,002	14	0,185
Lastra in gesso rivestito KNAUF Silentboard	0,012	10	0,792
Lastra in gesso rivestito KNAUF A accoppiata con barriera a valore	0,012	10	0,792
Pannello in lana di roccia KNAUF DF 40	0,09	0,4	0,238
Profilo a C in acciaio zincato	0,0006	27	0,010
Pilastro HEA			
Profilo a C in acciaio zincato	0,0006	27	0,010
Pannello in lana di roccia KNAUF DF 40	0,09	0,4	0,238
Lastra in gesso rivestito KNAUF A accoppiata con barriera a valore	0,012	10	0,792
Lastra in gesso rivestito KNAUF Silentboard	0,012	10	0,792
Sottostruttura in acciaio zincato	0,0006	27	0,107
Rivestimento in pannelli in legno IDEAWOOD IDE-ALUX FL	0,031	4,7	0,962
Totale			4,92

Essendo $4,00 < G2 \leq 5,00$ kN/m si utilizza come valore $g2 = 2$ kN/m², come riferito da NTC2018 Capitolo 3.1.3

Chiusura verticale: Parete con rivestimento in rame microforato

Strato	Spessore	Peso	Peso
	s	specifico	G2
	m	kN/m ³	kN/m ²
Lastra in gesso rivestito KNAUF A accoppiata con barriera a valore	0,0125	13	1,073
Pannello in lana di roccia	0,09	0,4	0,238
Profilo a C in acciaio zincato	0,0006	27	0,010
Profilo a C in acciaio zincato	0,0006	27	0,010
Pannello in lana di roccia	0,14	0,4	0,370
Pilastro HEA			
Profilo a C in acciaio zincato	0,0006	27	0,010
Pannello in lana di roccia	0,14	0,4	0,370
Lastra in fibrocemento	0,008	15,8	0,834
Traverso - profilo estruso in alluminio	0,0002	27	0,036
Maglia esagonale - profili estrusi in alluminio	0,0002	27	0,036
Cassetta metallica per pareti	0,0003	27	0,053
Rivestimento in rame microforato	0,0002	88,9	0,117
Totale			3,15

Per gli elementi orizzontali il G2 si ottiene moltiplicando lo spessore dello strato per il peso specifico.

Partizione orizzontale: Solaio interpiano in alveolari

Strato	Spessore s m	Peso specifico kN/m ³	Peso G2 kN/m ²
Finitura in LVT	0,0046	6,5	0,030
Strato di regolazione in gessofibra	0,0016	10,7	0,017
Strato di regolazione in gessofibra	0,018	13	0,234
Pavimento radiante	0,03	0,3	0,009
Massetto di integrazione impiantistica in cellulosa	0,3	0,4	0,120
Strato di freno a vapore	0,0001	2,08	0,0002
Isolamento in XPS	0,12	0,33	0,040
Getto collaborante in calcestruzzo			
Alveolari in cemento armato precompresso			
Intonaco di fondo a base calce e cemento	0,015	14	0,210
Finitura in intonaco rasante a base calce e cemento	0,002	14,5	0,029
Totale			0,69

Partizione orizzontale: Solaio interpiano a secco

Strato	Spessore s m	Peso specifico kN/m ³	Peso G2 kN/m ²
Finitura in LVT	0,0025	6,5	0,016
Strato di incollaggio	0,0016	10,7	0,017
Regolazione in gessofibra	0,018	13	0,234
Pavimento radiante	0,03	0,3	0,009
Massetto di integrazione impiantistica in cellulosa	0,04	0,4	0,016
Freno a vapore	0,0001	2,08	0,0002
Pannello in OSB	0,015	5,5	0,083
Lamiera grecata in acciaio			
Trave HEA			
Isolamento termoacustico in fibra di cellulosa	0,04	0,23	0,009
Pannelli forati in fibra di gesso	0,013	12,5	0,163
Totale			0,55

Chiusura orizzontale: Copertura piana non praticabile

Strato	Spessore s m	Peso specifico kN/m³	Peso G2 kN/m²
Ghiaietto	0,15	15	2,250
Guaina impermeabile per sistemi a secco	0,003	6,4	0,019
Massetto in cemento alleggerito	0,05	10	0,500
Massetto in fibra di cellulosa	0,3	0,4	0,120
Pannello in polistirene espanso estruso (XPS)	0,08	0,33	0,026
Freno a vapore	0,0001	2,08	0,0002
Pannello in OSB	0,015	5,5	0,083
Lamiera grecata in acciaio			
Trave HEA			
Isolamento termoacustico in fibra di cellulosa	0,04	0,23	0,009
Pannelli forati in fibra di gesso	0,013	12,5	0,163
Totale			3,17

1.1.2. CARICHI VARIABILI

I carichi variabili sono azioni che comprendono l'azione del vento, della neve, della temperatura e infine vi sono i carichi dipendenti dalla destinazione d'uso.

CARICHI DIPENDENTI DALLA DESTINAZIONE D'USO

Tali azioni sono costituite da:

- q_k : carichi verticali uniformemente distribuiti;
- Q_k : carichi verticali concentrati;
- H_k : carichi orizzontali lineari.

In riferimento alla tabella del §3.1.4. delle NTC2018 si trovano i valori dei carichi relativi ai solai interpiano del blocco ovest la cui destinazione d'uso prevalente è di uffici non aperti al pubblico, corrispondente alla categoria B1, perciò:

- $q_k = 2 \text{ kN/m}^2$;
- $Q_k = 2 \text{ kN/m}^2$;
- $H_k = 1 \text{ kN/m}^2$.

Per la copertura si considera la categoria H in quanto accessibile solo per manutenzione, di conseguenza:

- $q_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$;
- $Q_k = 1,2 \text{ kN/m}^2$;
- $H_k = 1 \text{ kN/m}^2$.

AZIONE DELLA NEVE

Il sovraccarico agente sulla copertura dell'edificio dovuto alla presenza di neve è stato valutato secondo l'espressione [3.4.1] enunciata al §3.4.1 delle NTC2018, di seguito ri-

portata:

$$q_s = q_{sk} \cdot \mu_i \cdot C_e \cdot C_t$$

dove:

- q_{sk} : valore di riferimento del carico della neve al suolo;
- μ_i : coefficiente di forma della copertura;
- C_e : coefficiente di esposizione;
- C_t : coefficiente termico posto solitamente uguale a 1.

Carico della neve

Sono stati valutati in primo luogo la locazione dell'edificio e l'altitudine di riferimento, in modo da scegliere correttamente la formula per il calcolo di q_{sk} ; essendo l'edificio a Parigi risultava impossibile trovare i valori di riferimento nelle NTC in quanto fuori dal territorio italiano.

Per trovare quindi q_{sk} si è fatto riferimento al documento "Charges de neige sur les constructions selon l'Eurocode 1 – Partie 1-3" dove nella tabella 1 è stato possibile risalire alla zona di appartenenza di Parigi, ovvero A1.

Incrociando questo dato con la tabella 3 per le zone con altitudine inferiore a 200m s.l.m. è stato possibile definire il valore di q_{sk} , ovvero 0,45.

Coefficiente di forma delle coperture μ_1

I coefficienti di forma delle coperture dipendono dalla forma stessa della copertura e dall'inclinazione sull'orizzontale delle sue parti componenti e dalle condizioni climatiche locali del sito ove sorge la costruzione. La copertura su cui si sviluppano i calcoli presenta un'inclinazione $\alpha = 1,5^\circ$ ed una sola falda (copertura piana), per cui si è fatto riferimento al coefficiente μ_1 pari a 0,8.

Coefficiente di esposizione C_e

Il coefficiente di esposizione C_e tiene conto delle caratteristiche specifiche dell'area in cui sorge l'opera.

L'area in cui è collocato l'edificio rientra nella categoria di topografia "normale" come dettato dalla Tab. 3.4.I del §3.4.4 delle NTC2018, perciò il coefficiente di esposizione C_e è stato scelto pari a 1.

Unendo tutti i coefficienti calcolati si ottiene il valore del sovraccarico agente sulla copertura dell'edificio:

$$q_s = 0,45 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 = 0,36 \text{ kN/m}^2$$

1.1.3. CARICO PERMANENTE STRUTTURALE G1

ALVEOLARI - INTERPIANO

Per la scelta degli alveolari che costituiscono i solai dei piani interrati si sono considerati:

- I carichi permanenti portati dalla partizione orizzontale e dalla partizione verticale interna;
- Il carico variabile dovuto alla categoria d'uso a cui appartiene l'edificio q_k .

G2 - Carico permanente non strutturale solaio	G2 - Carico partizione verticale	qk- Sovraccarico per tipologia	Totale
kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²
0,69	2	2	4,69

Figura IV.1.1. Tabella carichi per dimensionamento alveolari

Dalla somma G2solaio + G2partizioni + qk si ricava il valore del sovraccarico del solaio; tale valore, insieme alla luce da coprire di 6,10m hanno permesso di calcolare la portata del solaio in kN/m poi convertita in kg/m moltiplicando per il fattore di conversione 101,97.

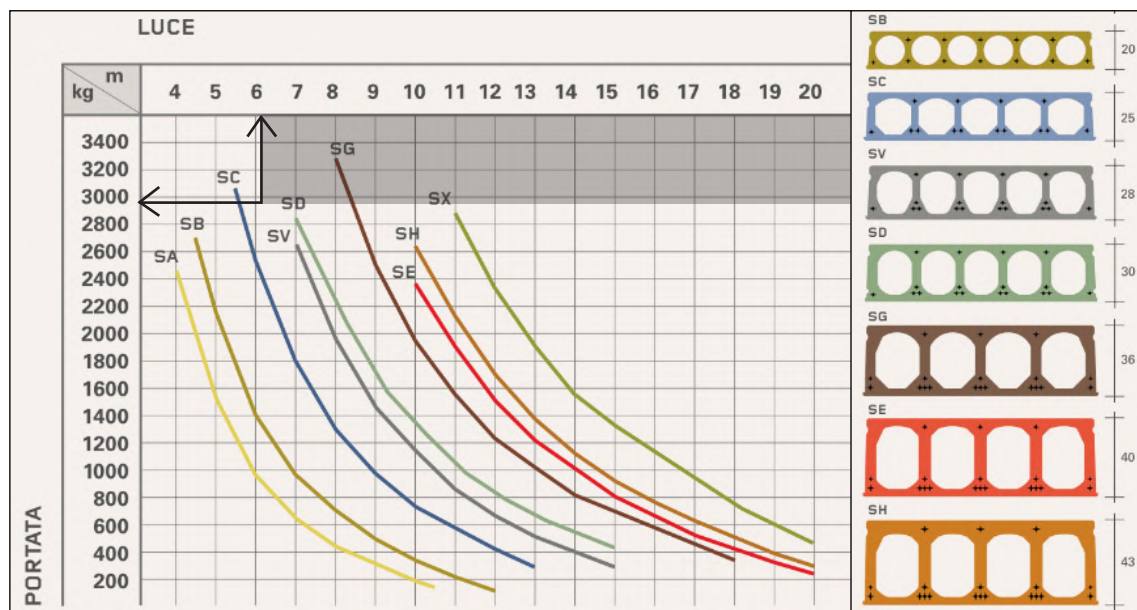


Figura IV.1.2. Tabella per dimensionamento alveolari

Fonte immagine: Generale prefabbricati S.p.a.

Alveolari ammissibili

Incrociando portata (2916,54kg/m) e luce da coprire(6,10m) è stato possibile scegliere lo spessore dell'alveolare adatto all'edificio, ovvero di 0,36m.

LAMIERA GRECATA – INTERPIANO

Per la scelta della lamiera grecata dei solai dei piani fuoriterra si sono considerati i sovraccarichi dati dalla somma dei carichi G2 e qk che, incrociati con la luce di 6,10m hanno permesso di calcolare lo spessore della lamiera. Si sceglie una lamiera per grandi luci alta 0,175m.

G2 - Carico permanente non strutturale solaio	G2 - Carico partizione verticale	qk- Sovraccarico per tipologia	Totale
kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²
0,55	2	2	4,55

Figura IV.1.3. Tabella carichi per dimensionamento lamiera solaio interpiano

Dallo spessore della lamiera si determina il G1 della lastra stessa.

Quindi per uno spessore di 0,00135m si ottiene un G1 di 0,22 kN/m².

EGB 2000® GL																	
Spessore Thickness mm	Distanza fra gli appoggi in m - Supports spacing (m)																
	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00
0,8	6,93	6,16	5,51	4,95	4,48	4,06	3,70	3,38	3,10	2,86	2,60	2,31	2,06	1,84	1,65	1,48	1,34
1,0	8,92	7,92	7,07	6,35	5,73	5,19	4,73	4,32	3,96	3,64	3,27	2,90	2,58	2,31	2,07	1,86	1,68
1,2	10,99	9,75	8,71	7,82	7,06	6,40	5,83	5,32	4,88	4,43	3,92	3,48	3,10	2,77	2,48	2,23	2,01
1,35	12,43	11,04	9,86	8,85	7,99	7,24	6,60	6,03	5,53	4,98	4,40	3,90	3,48	3,11	2,79	2,50	2,26
										5,09	4,69	4,34	4,03	3,74	3,49	3,26	3,04

Figura IV.1.4. Tabella per dimensionamento lamiera (sopra)

Figura IV.1.5. Tabella per determinazione G1 lamiera (sinistra)

Fonte immagine: Marcegaglia

EGB 2000® GL		
Caratteristiche del profilo Section properties		
Spessore Thickness	Peso Weight	
mm	kg/m ²	kg/m
0,8	13,27	9,42
1,0	16,58	11,77
1,2	19,90	14,13
1,35	22,38	15,80

LAMIERA GRECATA – COPERTURA

Per la scelta della lamiera grecata della copertura si è seguito lo stesso iter dei solai interplanetari, si riportano in seguito i valori trovati.

G2 - Carico permanente non strutturale solaio	G2 - Carico partizione verticale	qk- Sovraccarico per tipologia	Totale
kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²
3,17	-	0,5	3,67

Figura IV.1.6. Tabella carichi per dimensionamento lamiera solaio copertura

EGB 2000® GL																	
Spessore Thickness mm	Distanza fra gli appoggi in m - Supports spacing (m)																
	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00
0,8	6,93	6,16	5,51	4,95	4,48	4,06	3,70	3,38	3,10	2,86	2,60	2,31	2,06	1,84	1,65	1,48	1,34
1,0	8,92	7,92	7,07	6,35	5,73	5,19	4,73	4,32	3,96	3,64	3,27	2,90	2,58	2,31	2,07	1,86	1,68
1,2	10,99	9,75	8,71	7,82	7,06	6,40	5,83	5,32	4,88	4,43	3,92	3,48	3,10	2,77	2,48	2,23	2,01
1,35	12,43	11,04	9,86	8,85	7,99	7,24	6,60	6,03	5,53	4,98	4,40	3,90	3,48	3,11	2,79	2,50	2,26
										5,09	4,69	4,34	4,03	3,74	3,49	3,26	3,04

Figura IV.1.7. Tabella per dimensionamento lamiera (sopra)

Figura IV.1.8. Tabella per determinazione G1 lamiera (sinistra)

Fonte immagine: Marcegaglia

EGB 2000® GL		
Caratteristiche del profilo Section properties		
Spessore Thickness	Peso Weight	
mm	kg/m ²	kg/m
0,8	13,27	9,42
1,0	16,58	11,77
1,2	19,90	14,13
1,35	22,38	15,80

Quindi per uno spessore di 0,0012m si ottiene un G1 di 0,199 kN/m².

1.2. ANALISI DI CALCOLO

1.2.1. COMBINAZIONI DI CARICO

Una volta trovati i vari carichi agenti sull'edificio si procede al calcolo delle combinazioni in quanto le azioni precedentemente riportate non avvengono tutte nello stesso arco temporale.

Ai fini delle verifiche degli stati limite, si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni:

- combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G1 + \gamma_{G2} \cdot G2 + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} \dots$$
- combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G1 + G2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} \dots$$
- combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G1 + G2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} \dots$$
- combinazione quasi permanente (SLE), impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G1 + G2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} \dots$$

dove:

- G1: carichi permanenti;
- G2: peso proprio degli elementi non strutturali;
- P: pretensione e precompressione dell'elemento strutturale;
- Q_k: si riferisce alle altre azioni variabili che insistono sulla struttura e che sono considerate nella combinazione in esame come non principali;
- YG1: è il coefficiente di amplificazione dei pesi propri degli elementi strutturali G1;
- YG2: è il coefficiente di amplificazione dei pesi propri degli elementi non strutturali G2;
- y_P: è il coefficiente di amplificazione delle azioni di pretensione e precompressione;
- y_Q: è il coefficiente di amplificazione di tutte le azioni variabili Q;
- ψ_{0i}: è il coefficiente di combinazione delle azioni variabili che sono considerate nella combinazione in esame come non principali (vedere tab § 2.5.2, Tab. 2.5.1); nel nostro caso tali coefficienti valgono:
 - per il solaio:

$$\psi_{0j} = 0,7$$

$$\psi_{1j} = 0,5$$

$$\psi_{2j} = 0,3$$
 - per la copertura:

$$\psi_{0j} = \psi_{1j} = \psi_{2j} = 0,0$$

La Tab. 2.6.I delle NTC2018 riporta i coefficienti per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche. Nei calcoli si fa riferimento solo alla colonna A1 in quanto si sta progettando componenti strutturali che non coinvolgano azioni di tipo geotecnico. In particolare, si sceglieranno i coefficienti relativi alle condizioni sfavorevoli.

1.2.2. RIEPILOGO COMBINAZIONI DI CARICO

Categoria ambiente	qk- Carichi verticali uniformemente distribuiti	Qk - Carichi verticali concentrati	Hk - Carichi orizzontali concentrati
	kN/m ²	kN	kN/m
B1 - Uffici non aperti al pubblico	2	2	1
H - Coperture accessibili per manutenzione	0,5	1,2	1

Figura IV.1.9. Sovraccarichi per categoria d'uso delle costruzioni

Categoria/Azione Variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
B1 - Uffici non aperti al pubblico	0,7	0,5	0,3
H - Coperture accessibili per manutenzione	0	0	0
Vento	0,6	0,2	0
Neve (quota ≤ 1000 m s.l.m)	0,5	0,2	0

Figura IV.1.10. Valori dei coefficienti di combinazione

SOLAIO A SECCO - COPERTURA

Carico	Valore kN/m ²
G1: permanente strutturale	0,20
G2: permanente non strutturale	3,17
Q1: sovraccarico x tipologia	0,50
Q2: sovraccarico neve	0,36

Figura IV.1.11. Riassunto carichi

Combinazione	Valore	Considerato
SLU Combinazione fondamentale	6,03	6,03
	5,55	
SLE Combinazione rara	4,04	4,04
	3,72	
SLE Combinazione frequente	3,365	3,437
	3,437	
SLE Combinazione quasi permanente	3,365	3,365

Figura IV.1.12. Risultati combinazioni

SOLAIO A SECCO - INTERPIANO

Carico	Valore kN/m ²
G1: permanente strutturale	0,22
G2: permanente non strutturale	0,55
Q1: sovraccarico x tipologia	2,00

Figura IV.1.13. Riassunto carichi

Combinazione	Valore	Considerato
SLU Combinazione fondamentale	4,11	4,11
SLE Combinazione rara	2,77	2,77
SLE Combinazione frequente	1,766	1,766
SLE Combinazione quasi permanente	1,366	1,366

Figura IV.1.14. Risultati combinazioni

Al fine del dimensionamento delle travi, in conformità con quanto stabilito dalle NTC.18 § 4.2 – costruzioni di acciaio, è necessario che vengano soddisfatte due verifiche differenti, una allo Stato Limite di Esercizio (SLE) e l'altra allo Stato Limite Ultimo (SLU).

Si sceglie di operare con un acciaio S 275, di seguito i valori nominali di tale materiale:

- modulo elastico (E): 210.000 N/mm²;
- modulo di elasticità trasversale (G): $E / [2 (1 + \nu)]$;
- coefficiente di Poisson (ν): 0,3;
- coefficiente di espansione termica lineare (α) (per temperature fino a 100 °C): 12×10^{-6} per°C-1;
- densità (ρ) : 7850 kg/m³;
- snervamento (f_{yk}): 275 N/mm² (da NTC § 4.2.1, Tab. 4.2.I);
- rottura (f_{tk}): 430 N/mm² (da NTC § 4.2.1, Tab. 4.2.I).

1.3. TRAVE SECONDARIA

1.3.1. TRAVE SECONDARIA – COPERTURA

PREDIMENSIONAMENTO – SLE

Nella determinazione dei carichi gravanti sulle travi secondarie sono stati considerati i seguenti carichi in Stato Limite di Esercizio (SLE):

G1	G2	qk (Cat. H)	Qk (neve)	Interasse l	SLE - R	Carico lineare p
kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	m	kN/m ²	kN/m
0,20	3,17	0,5	0,36	2	4,045	8,1

Figura IV.1.15. Carichi considerati in fase di predimensionamento

Dove il carico lineare è stato determinato moltiplicando la combinazione rara con il valore di interesse tra le travi come indicato da NTC § 4.2.4.2.1.

Si è deciso di effettuare il dimensionamento in relazione alla condizione più caricata, ovvero una secondaria della copertura in un punto centrale in condizione di appoggio-appoggio.

Si calcola a questo punto la freccia massima normativa $\delta_{max} = L/200 = 5/200 = 0,02m$ come indicato dalla tabella [4.2.XII] NTC § 4.2.4.2.2.

A questo punto si hanno tutti i dati per calcolare l'inerzia minima del profilo da scegliere, ottenuta tramite la formula:

$$I_{x_{min}} = 5/384 \cdot q \cdot L^4 / E \cdot f_{max} = 5/384 \cdot 8,1 \cdot 5^4 / 210000000 \cdot 0,02 = 1563cm^4$$

Si ipotizza la trave secondaria centrale di copertura con un profilo HEA160 in acciaio laminato a caldo S-275JR caratterizzato da un'inerzia massima di $I_x = 1673 cm^4$, ha una lunghezza di 5m e un interasse di 2m.

Si riportano di seguito i valori utili utilizzati poi in seguito relativamente alla trave scelta:

Profilo	HEA 160	
Acciaio	S-275	
Inerzia I_x	1673	cm^4
h	152	mm
t	6	mm
b	160	mm
e	9,5	mm
r	15	mm
Peso	30,4	kg/m
A (sezione)	38,8	cm^2
bc piattabanda	62	mm

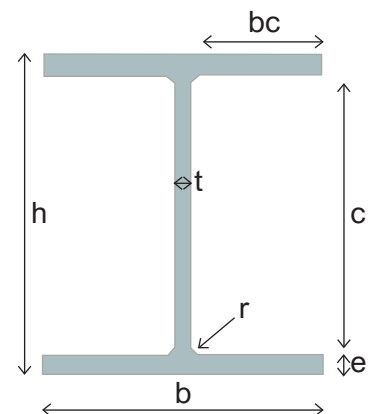


Figura IV.1.16. Dati profilo di trave secondaria scelto

CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE

Al fine di classificare il profilo in base a flessione e compressione si è andati a valutare il rapporto c/t e bc/e in modo da determinare la classe di appartenenza della sezione della trave.

Per i casi più comuni delle forme delle sezioni e delle modalità di sollecitazione si seguono le Tab. 4.2.III, 4.2.VI delle NTC in quanto forniscono indicazioni per la classificazione delle sezioni.

Occorrerà svolgere due verifiche separate per le ali e l'anima, andando a valutare il rapporto lunghezza - spessore delle parti costituenti.

Innanzitutto è utile calcolare il valore di ϵ in quanto verrà utilizzato per le verifiche seguenti:

$$\epsilon = \sqrt{(235/f_{yk})}$$

Tenendo conto che $f_{yk}=275 kN/mm^2$, si avrà un valore di ϵ pari a 0,92.

Classificazione della sezione del profilo: verifica dell'anima

Nella parte sottoposta a flessione, è richiesto che valga la relazione:

$$c/t \leq 72\varepsilon$$

Tenendo conto delle dimensioni geometriche da profilario ($c = h - 2 \cdot e - 2 \cdot r = 103\text{mm}$, $t = 6\text{ mm}$), si avrà:

$$c/t = 17,17 \leq 72\varepsilon = 66,56$$

La verifica è pertanto soddisfatta e l'anima risulta in CLASSE 1.

Verifica delle ali

È necessario che la snellezza non superi un valore limite:

$$bc/e \leq 9\varepsilon$$

dove:

- bc è la piattabanda dell'ala ($bc = b/2 - a/2 - e = 62\text{mm}$);
- e è lo spessore dell'ala ($e = 9,5\text{mm}$).

Recuperate le informazioni geometriche da profilario, e sostituendo i valori numerici:

$$bc/e = 6,53 \leq 9\varepsilon = 8,32$$

La verifica è pertanto soddisfatta e le ali risulta in CLASSE 1.

Si può quindi concludere che l'intero profilo risulti in CLASSE 1.

VERIFICA DI SICUREZZA ALLO STATO LIMITE ESERCIZIO (SLE)

Per il calcolo della freccia elastica e freccia massima si è fatto riferimento alla tab 4.2.XII delle NTC.18 § 4.2.4.2.2 considerando una luce di progetto di 5,00m.

Nel caso di coperture, solai e travi di edifici ordinari, i valori limite di δ_{\max} e δ_2 , riferiti alle combinazioni caratteristiche delle azioni, sono espressi come funzione della luce L dell'elemento.

Dove:

- δ_2 lo spostamento elastico dovuto ai carichi variabili;
- δ_{\max} lo spostamento nello stato finale.

È necessario verificare che la freccia massima elastica sia minore dello spostamento limite massimo, mentre la freccia elastica sia minore dello spostamento limite elastico.

Verifica freccia massima elastica

La freccia massima elastica δ_{\max} viene calcolata tramite la formula:

$$f_{\max} = 5/384 \cdot q \cdot L^4 / E \cdot I = 5/384 \cdot 8,1 \cdot 5^4 / 210000000 \cdot 0,0001673 = 0,0187\text{m}$$

dove:

- q è il carico lineare distribuito in combinazione SLE rara (kN/m);
- L è la luce della trave (m);
- E è il modulo elastico dell'acciaio (kN/m²);
- I è l'inerzia della sezione (m⁴).

Poiché δ_c viene trascurato, si considera $\delta_{\max} = f_{\max} = 0,0187\text{m}$ perciò:

$$\delta_{\max}/L = 0,0037 \leq 1/200 = 0,005 \rightarrow \text{Verificato}$$

Verifica freccia elastica δ_2

La freccia massima elastica viene calcolata tramite la formula:

$$f_{el} = 5/384 \cdot q \cdot L^4 / E \cdot I = 5/384 \cdot 1,72 \cdot 5^4 / 210000000 \cdot 0,0001673 = 0,004\text{m}$$

dove:

- Q è il carico lineare distribuito derivante dai carichi variabili (kN/m);
- L è la luce della trave (m);
- E è il modulo elastico dell'acciaio (kN/m²);
- I è l'inerzia della sezione (m⁴).

$$\text{Perciò } \delta_2/L = 0,0008 \leq 1/250 = 0,004 \rightarrow \text{Verificato}$$

VERIFICA DI SICUREZZA ALLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU)

Verifica momento flettente - trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito (peso proprio trave secondaria)

Per eseguire tale verifica si tiene in considerazione i valori ricavati con la SLU.

La normativa NTC 2018, § 4.2.4.1.2.3 afferma che il valore di calcolo del momento flettente di progetto MEd deve rispettare la condizione:

$$M_{ed}/M_{c,rd} \leq 1$$

Si è quindi calcolato per le sezioni di classe 1 e 2 M_{c,Rd} :

$$M_{c,rd} = W_{pl} \cdot f_{yk} / \gamma_{mo}$$

dove:

- W_{pl} è modulo resistenza plastico profilo derivante dal produttore, per un profilo HEA160 è pari a 246 cm³;
- f_{yk} è la resistenza caratteristica a snervamento dell'acciaio S275, vale 275 MPa;
- γ_{mo} è il coefficiente di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità, che nel nostro caso vale 1,05 (Tab 4.2.VII)

Perciò: M_{c,Rd} = 64,43 kNm

$$M_{ed} = qL^2 / 8$$

dove:

- L è la luce della trave (5m);
- q è il carico distribuito proprio della trave (calcolato come q = SLU · L + PP · γ_{G1}, con L interasse della trave, PP peso proprio della trave e γ_{G1} coefficiente per i carichi permanenti).

Perciò: M_{ed} = 38,56 kNm

$$\text{In conclusione: } M_{ed}/M_{c,rd} = 0,595 \leq 1 \rightarrow \text{Verificato}$$

Verifica azione tagliante - trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito (peso proprio trave secondaria)

Per eseguire tale verifica si tiene in considerazione i valori ricavati con la SLU. La normativa NTC 18, §4.2.4.1.2.4 afferma che il valore di calcolo dell'azione tagliante di progetto VEd deve rispettare la condizione:

$$V_{ed}/V_{c,rd} \leq 1$$

dove:

- V_{ed} è il taglio massimo calcolato (kN);
- $V_{c,rd}$ è la resistenza di calcolo a taglio (kN), che in assenza di torsione, vale:

$$V_{c,rd} = A_v \cdot f_{yk} / \sqrt{3} \cdot \gamma_{mo}$$

dove:

- f_{yk} è la resistenza caratteristica a snervamento dell'acciaio S275, vale 275 MPa;
- γ_{mo} è il coefficiente di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità che nel nostro caso vale 1,05;
- A_v è l'area resistente a taglio, che per profilati ad I e ad H caricati si può calcolare con la seguente formula: $A_v = A - (2b \cdot e) + (a + 2 \cdot r) \cdot e = 1179 \text{mm}^2$

dove:

- A è l'area lorda della sezione del profilo;
- b è la larghezza delle ali per i profilati e la larghezza per le sezioni cave;
- r è il raggio di raccordo tra anima ed ala;
- e è lo spessore delle ali;
- a è lo spessore dell'anima.

Si è quindi calcolato $V_{c,rd} = 178,28 \text{ kN}$

$$V_{ed} = q \cdot L/2$$

dove:

- L è la luce della trave, pari a 5m
- q è il carico distribuito calcolato come nel momento flettente, pari a 12,34 kN/m.

Perciò: $V_{Ed} = 30,849 \text{ kN}$

In conclusione: $V_{Ed}/V_{c,Rd} = 0,173 \leq 1 \rightarrow$ Verificato

Verifica a flessione e taglio

La normativa NTC18 afferma che se il taglio di calcolo V_{Ed} è inferiore a metà della resistenza di calcolo a taglio $V_{c,Rd}$.

$$V_{ed}/V_{c,rd} \leq 0,5$$

Allora si può trascurare l'influenza del taglio sulla resistenza a flessione, eccetto nei casi in cui l'instabilità per taglio riduca la resistenza a flessione della sezione.

Quindi visto che:

$V_{Ed}/V_{c,Rd} = 0,12 \leq 1$ risulta trascurabile l'influenza del taglio sulla resistenza a flessione.

1.3.2. TRAVE SECONDARIA – INTERPIANO

PREDIMENSIONAMENTO – SLE

Nella determinazione dei carichi gravanti sulle travi secondarie sono stati considerati i seguenti carichi in Stato Limite di Esercizio (SLE):

G1	G2	qk (Cat. H)	Interasse l	SLE - R	Carico lineare p
kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	m	kN/m ²	kN/m
0,22	2,55	2	2	2,766	5,5

Figura IV.1.17. Carichi considerati in fase di predimensionamento

Dove il carico lineare è stato determinato moltiplicando la combinazione rara con il valore di interasse tra le travi come indicato da NTC § 4.2.4.2.1.

Si è deciso di effettuare il dimensionamento in relazione alla condizione più caricata, ovvero una secondaria della copertura in un punto centrale in condizione di appoggio-appoggio.

Si calcola a questo punto la freccia massima normativa $\delta_{max} = L/200 = 5/200 = 0,025m$ come indicato dalla tabella [4.2.XII] NTC § 4.2.4.2.2.

A questo punto si hanno tutti i dati per calcolare l'inerzia minima del profilo da scegliere, ottenuta tramite la formula:

$$I_{x_{min}} = 5/384 \cdot q \cdot L^4 / E \cdot f_{max} = 5/384 \cdot 5,5 \cdot 5^4 / 210000000 \cdot 0,02 = 1254cm^4$$

Si ipotizza la trave secondaria centrale di interpiano con un profilo HEA160 in acciaio laminato a caldo S-275JR caratterizzato da un'inerzia massima di $I_x = 1673 cm^4$, ha una lunghezza di 5 m e un interasse di 2m.

Si riportano di seguito i valori utili utilizzati poi in seguito relativamente alla trave scelta:

Profilo	HEA 160	
Acciaio	S-275	
Inerzia I_x	1673	cm ⁴
h	152	mm
a (nelle NTC è t)	6	mm
b	160	mm
e	9,5	mm
r	15	mm
Peso	30,4	kg/m
A (sezione)	38,8	cm ²
bc piattabanda	62	mm

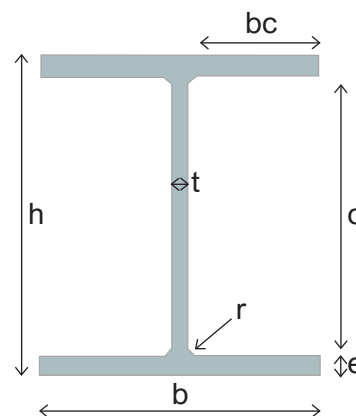


Figura IV.1.18. Dati profilo di trave secondaria scelto

CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE

Al fine di classificare il profilo in base a flessione e compressione si è andati a valutare il rapporto c/t e bc/e in modo da determinare la classe di appartenenza della sezione della trave.

Per i casi più comuni delle forme delle sezioni e delle modalità di sollecitazione si seguono le Tab. 4.2.III, 4.2.VI delle NTC in quanto forniscono indicazioni per la classificazione delle sezioni.

Occorrerà svolgere due verifiche separate per le ali e l'anima, andando a valutare il rapporto lunghezza - spessore delle parti costituenti.

Innanzitutto è utile calcolare il valore di ε in quanto verrà utilizzato per le verifiche seguenti:

$$\varepsilon = \sqrt{(235/f_{yk})}$$

Nel caso del profilo ipotizzato (HEA160), tenendo conto che $f_{yk}=275 \text{ kN/mm}^2$, si avrà un valore di ε pari a 0,92.

Classificazione della sezione del profilo: verifica dell'anima

Nella parte sottoposta a flessione, è richiesto che valga la relazione:

$$c/t \leq 72\varepsilon$$

Tenendo conto delle dimensioni geometriche da profilario ($c = h - 2 \cdot e - 2 \cdot r = 103 \text{ mm}$, $t = 6 \text{ mm}$), si avrà:

$$c/t = 17,17 \leq 72\varepsilon = 66,56$$

La verifica è pertanto soddisfatta e l'anima risulta in CLASSE 1.

Verifica delle ali

Come sopra è necessario che la snellezza non superi un valore limite:

$$bc/e \leq 9\varepsilon$$

dove:

- bc è la piattabanda dell'ala ($bc = b/2 - a/2 - e = 62 \text{ mm}$);
- e è lo spessore dell'ala ($e = 9,5 \text{ mm}$).

Recuperate le informazioni geometriche da profilario, e sostituendo i valori numerici:

$$bc/e = 6,53 \leq 9\varepsilon = 8,32$$

La verifica è pertanto soddisfatta e le ali risulta in CLASSE 1.

Si può quindi concludere che l'intero profilo risulti in CLASSE 1.

VERIFICA DI SICUREZZA ALLO STATO LIMITE ESERCIZIO (SLE)

Per il calcolo della freccia elastica e freccia massima si è fatto riferimento alla tab 4.2.XII delle NTC.18 § 4.2.4.2.2 considerando una luce di progetto di 5,00 m.

Nel caso di coperture, solai e travi di edifici ordinari, i valori limite di δ_{\max} e δ_2 , riferiti alle combinazioni caratteristiche delle azioni, sono espressi come funzione della luce L dell'elemento.

Dove:

- δ_2 lo spostamento elastico dovuto ai carichi variabili;
- δ_{\max} lo spostamento nello stato finale.

È necessario verificare che la freccia massima elastica sia minore dello spostamento limite massimo, mentre la freccia elastica sia minore dello spostamento limite elastico.

Verifica freccia massima elastica

Verifica freccia massima elastica

La freccia massima elastica viene calcolata tramite la formula:

$$f_{\max} = 5/384 \cdot q \cdot L^4 / E \cdot I = 5/384 \cdot 5,5 \cdot 5^4 / 210000000 \cdot 0,0001673 = 0,0128 \text{ m}$$

dove:

- q è il carico lineare distribuito in combinazione SLE rara (kN/m);
- L è la luce della trave (m);
- E è il modulo elastico dell'acciaio (kN/m^2);
- I è l'inerzia della sezione (m^4).

Poiché δ_c viene trascurato, si considera $\delta_{\max} = f_{\max} = 0,012 \text{ m}$ perciò:

$$\delta_{\max}/L = 0,0026 \leq 1/250 = 0,004 \rightarrow \text{Verificato}$$

Verifica freccia elastica δ_2

La freccia massima elastica viene calcolata tramite la formula:

$$f_{el} = 5/384 \cdot q \cdot L^4 / E \cdot I = 5/384 \cdot 4 \cdot 5^4 / 210000000 \cdot 0,0001673 = 0,0092\text{m}$$

dove:

- Q è il carico lineare distribuito derivante dai carichi variabili (kN/m);
- L è la luce della trave (m);
- E è il modulo elastico dell'acciaio (kN/m²);
- I è l'inerzia della sezione (m⁴).

$$\text{Perciò } \delta_2/L = 0,0019 \leq 1/300 = 0,003 \rightarrow \text{Verificato}$$

VERIFICA DI SICUREZZA ALLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU)

Verifica momento flettente - trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito (peso proprio trave secondaria)

Per eseguire tale verifica si tiene in considerazione i valori ricavati con la SLU.

La normativa NTC 2018, § 4.2.4.1.2.3 afferma che il valore di calcolo del momento flettente di progetto MEd deve rispettare la condizione:

$$M_{ed}/M_{c,Rd} \leq 1$$

Si è quindi calcolato per le sezioni di classe 1 e 2 M_{c,Rd} :

$$M_{c,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yk} / \gamma_{mo}$$

dove:

- W_{pl} è modulo resistenza plastico profilo derivante dal produttore, per un profilo HEA160 è pari a 246 cm³;
- f_{yk} è la resistenza caratteristica a snervamento dell'acciaio S275, vale 275 MPa;
- γ_{mo} è il coefficiente di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità, che nel nostro caso vale 1,05 (Tab 4.2.VII)

$$\text{Perciò: } M_{c,Rd} = 64,43 \text{ kNm}$$

$$M_{ed} = qL^2 / 8$$

dove:

- L è la luce della trave (5 m);
- q è il carico distribuito proprio della trave (calcolato come q = SLU · L + PP · γG1, con L interasse della trave, PP peso proprio della trave e γG1 coefficiente per i carichi permanenti).

$$\text{Perciò: } M_{ed} = 26,80 \text{ kNm}$$

$$\text{In conclusione: } M_{ed}/M_{c,Rd} = 0,416 \leq 1 \rightarrow \text{Verificato}$$

Verifica azione tagliante - trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito (peso proprio trave secondaria)

Per eseguire tale verifica si tiene in considerazione i valori ricavati con la SLU.

La normativa NTC 18, §4.2.4.1.2.4 afferma che il valore di calcolo dell'azione tagliante di

progetto VEd deve rispettare la condizione:

$$V_{ed}/V_{c,rd} \leq 1$$

dove:

- V_{ed} è il taglio massimo calcolato (kN);
- $V_{c,rd}$ è la resistenza di calcolo a taglio (kN), che in assenza di torsione, vale:

$$V_{c,rd} = A_v \cdot f_{yk} / \sqrt{3} \cdot \gamma_{mo}$$

dove:

- f_{yk} è la resistenza caratteristica a snervamento dell'acciaio S275, vale 275 MPa;
- γ_{mo} è il coefficiente di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità che nel nostro caso vale 1,05;
- A_v è l'area resistente a taglio, che per profilati ad I e ad H caricati si può calcolare con la seguente formula: $A_v = A - (2b \cdot e) + (a + 2 \cdot r) \cdot e = 1179 \text{ mm}^2$

dove:

- A è l'area lorda della sezione del profilo;
- b è la larghezza delle ali per i profilati e la larghezza per le sezioni cave;
- r è il raggio di raccordo tra anima ed ala;
- e è lo spessore delle ali;
- a è lo spessore dell'anima.

Si è quindi calcolato $V_{c,rd} = 178,28 \text{ kN}$

$$V_{ed} = q \cdot L/2$$

dove:

- L è la luce della trave, pari a 5m;
- q è il carico distribuito calcolato come nel momento flettente, pari a 8,57 kN/m.

Perciò: $V_{Ed} = 21,4 \text{ kN}$

In conclusione: $V_{ed}/V_{c,rd} = 0,12 \leq 1 \rightarrow$ Verificato

Verifica a flessione e taglio

La normativa NTC18 afferma che se il taglio di calcolo V_{ed} è inferiore a metà della resistenza di calcolo a taglio $V_{c,rd}$.

$$V_{ed}/V_{c,rd} \leq 0,5$$

Allora si può trascurare l'influenza del taglio sulla resistenza a flessione, eccetto nei casi in cui l'instabilità per taglio riduca la resistenza a flessione della sezione.

Quindi visto che:

$V_{Ed}/V_{c,Rd} = 0,12 \leq 1$ risulta trascurabile l'influenza del taglio sulla resistenza a flessione.

1.4. TRAVE PRIMARIA

1.4.1. TRAVE PRIMARIA – COPERTURA

PREDIMENSIONAMENTO – SLE

Nella determinazione dei carichi gravanti sulle travi secondarie sono stati considerati i seguenti carichi in Stato Limite di Esercizio (SLE):

G1	G2	qk (Cat. H)	Qk (neve)	Interasse l	SLE - R	Carico lineare p
kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	m	kN/m ²	kN/m
0,16	3,17	0,5	0,36	5	4,01	20,06

Figura IV.1.19. Carichi considerati in fase di predimensionamento

Dove il carico lineare è stato determinato moltiplicando la combinazione rara con il valore di interasse tra le travi come indicato da NTC § 4.2.4.2.1.

Si è deciso di effettuare il dimensionamento in relazione alla condizione più caricata, ovvero una secondaria della copertura in un punto centrale in condizione di appoggio-appoggio.

Si calcola a questo punto la freccia massima normativa $\delta_{max} = L/200 = 5/200 = 0,03m$ come indicato dalla tabella [4.2.XII] NTC § 4.2.4.2.2.

A questo punto si hanno tutti i dati per calcolare l'inerzia minima del profilo da scegliere, ottenuta tramite la formula:

$$I_{x_{min}} = 5/384 \cdot q \cdot L^4 / E \cdot f_{max} = 5/384 \cdot 20,06 \cdot 6,1^4 / 210000000 \cdot 0,03 = 5646cm^4$$

Si ipotizza la trave primaria centrale di copertura con un profilo HEA240 in acciaio laminato a caldo S-275JR caratterizzato da un'inerzia massima di $I_x = 7763cm^4$, una lunghezza di 6,10m e un interasse di 5m.

Si riportano di seguito i valori utili utilizzati poi in seguito relativamente alla trave scelta:

Profilo	HEA 240	
Acciaio	S-275	
Inerzia I_x	7763	cm ⁴
h	230	mm
t	7,5	mm
b	240	mm
e	12	mm
r	21	mm
Peso	60,30	kg/m
A (sezione)	76,84	cm ²
bc piattabanda	95,25	mm

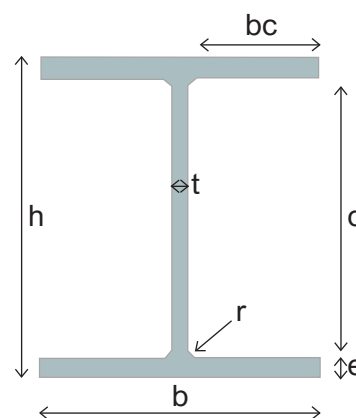


Figura IV.1.20. Dati profilo di trave primaria scelto

CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE

Al fine di classificare il profilo in base a flessione e compressione si è andati a valutare il rapporto c/t e bc/e in modo da determinare la classe di appartenenza della sezione della trave.

Per i casi più comuni delle forme delle sezioni e delle modalità di sollecitazione si seguono le Tab. 4.2.III, 4.2.VI delle NTC in quanto forniscono indicazioni per la classificazione delle sezioni.

Occorrerà svolgere due verifiche separate per le ali e l'anima, andando a valutare il rapporto lunghezza - spessore delle parti costituenti.

Innanzitutto è utile calcolare il valore di ε in quanto verrà utilizzato per le verifiche seguenti:

$$\varepsilon = \sqrt{(235/f_{yk})}$$

Nel caso del profilo ipotizzato (HEA160), tenendo conto che $f_{yk}=275 \text{ kN/mm}^2$, si avrà un valore di ε pari a 0,92.

Classificazione della sezione del profilo: verifica dell'anima

Nella parte sottoposta a flessione, è richiesto che valga la relazione:

$$c/t \leq 72\varepsilon$$

Tenendo conto delle dimensioni geometriche da profilario ($c = h - 2 \cdot e - 2 \cdot r = 164 \text{ mm}$, $t = 7,5 \text{ mm}$), si avrà:

$$c/t = 21,87 \leq 72\varepsilon = 66,56$$

La verifica è pertanto soddisfatta e l'anima risulta in CLASSE 1.

Verifica delle ali

È necessario che la snellezza non superi un valore limite:

$$bc/e \leq 9\varepsilon$$

dove:

- bc è la piattabanda dell'ala ($bc = b/2 - a/2 - e = 95,3 \text{ mm}$);
- e è lo spessore dell'ala ($e = 12 \text{ mm}$).

Recuperate le informazioni geometriche da profilario, e sostituendo i valori numerici:

$$bc/e = 6,53 \leq 9\varepsilon = 7,94$$

La verifica è pertanto soddisfatta e le ali risulta in CLASSE 1.

Si può quindi concludere che l'intero profilo risulti in CLASSE 1.

VERIFICA DI SICUREZZA ALLO STATO LIMITE ESERCIZIO (SLE)

La verifica delle travi primarie risulta più complessa delle travi secondarie in quanto oltre a considerare la condizione di semplice appoggio-appoggio con il peso proprio della trave bisogna tenere conto anche della presenza delle travi secondarie che costituiscono un carico concentrato gravante sulla trave primaria stessa.

Questa complessità è stata risolta sfruttando il principio della sovrapposizione degli effetti, ovvero andando a studiare i due casi separatamente; si avrà quindi:

- Caso 1: trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito (peso proprio trave primaria);
- Caso 2: trave con vincolo appoggio-appoggio e due carichi concentrati (travi secondarie).

Verifica freccia – Caso 1: trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito (peso proprio trave primaria)

Si calcola la freccia massima per trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito q quale il peso proprio della trave primaria scelta.

La freccia massima elastica viene calcolata tramite la formula:

$$f_{\max} = 5/384 \cdot q \cdot L^4 / E \cdot I = 5/384 \cdot 0,6 \cdot 6,10^4 / 210000000 \cdot 0,0001 = 0,0007\text{m}$$

Dove il carico q è il peso proprio della trave stessa.

Perciò: $f_{\max 1} = 0,0007\text{m}$

Verifica freccia – Caso 2: trave con vincolo appoggio-appoggio e due carichi concentrati (travi secondarie)

Usando la formula:

$$f_{\max 2} = [p \cdot a \cdot (3 \cdot L^2 - 4 \cdot a)] / 24 \cdot E \cdot I = 0,0116\text{m}$$

Perciò: $f_{\max 2} = 0,0116\text{m}$

Una volta calcolate le diverse frecce dei due casi tramite il principio di sovrapposizione degli effetti è stato possibile calcolare la freccia totale.

$$\delta_{\max} = f_{\max 1} + f_{\max 2} = 0,0007 + 0,0116 = 0,0123 \text{ cm}$$

La δ_{\max} deve essere divisa per L per poter essere confrontata con la δ_{lim}/L da normativa (1/200):

$$\delta_{\max}/L = 0,002 \leq 1/200 = 0,005 \longrightarrow \text{Verificato}$$

Verifica freccia elastica

Viene calcolata in seguito la freccia elastica σ_2 della trave primaria partendo dai dati seguenti:

Luce trave L	Carico variabile q	Modulo elastico E	Inerzia I
m	kN/m	kN/m ²	m ⁴
6,1	4,3	210000000	0,00007763

Figura IV.1.21. Valori considerati per calcolo freccia elastica

La freccia massima elastica viene calcolata tramite la formula:

$$f_{el} = 5/384 \cdot q \cdot L^4 / E \cdot I$$

dove:

- q è il carico lineare distribuito derivante dai carichi variabili (kN/m);
- L è la luce della trave (m);
- E è il modulo elastico dell'acciaio (kN/m²);
- I è l'inerzia della sezione (m⁴).

La freccia massima è risultata essere: $f_{el} = 0,0047\text{m}$

La f_{el} deve essere divisa per L per poter essere confrontata con la δ_2/L da normativa (1/250):

$$f_{el}/L = 0,00077 \leq 1/250 = 0,004 \longrightarrow \text{Verificato}$$

VERIFICA DI SICUREZZA ALLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU)

Anche in questo caso si studiano due casi separati: trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito (peso proprio trave primaria) e trave con vincolo appoggio-appoggio e due carichi concentrati (travi secondarie) per poi considerare entrambi i contributi con il principio della sovrapposizione degli effetti.

La normativa NTC 2018, § 4.2.4.1.2.3 afferma che il valore di calcolo del momento flettente di progetto M_{Ed} deve rispettare la condizione:

$$M_{ed}/M_{c,rd} \leq 1$$

Si è quindi calcolato per le sezioni di classe 1 e 2 $M_{c,Rd}$:

$$M_{c,rd} = W_{pl} \cdot f_{yk} / \gamma_{mo}$$

dove:

- W_{pl} è modulo resistenza plastico profilo derivante dal produttore, per un profilo HEA240 è pari a 744 cm^3 ;
- f_{yk} è la resistenza caratteristica a snervamento dell'acciaio S275, vale 275 MPa;
- γ_{mo} è il coefficiente di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità, che nel nostro caso vale 1,05 (Tab 4.2.VII)

Perciò: $M_{c,Rd} = 194,86 \text{ kNm}$

Verifica momento flettente - Caso 1: trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito (peso proprio trave primaria)

Si calcola il momento massimo per trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito q quale il peso proprio della trave primaria scelta.

$$M_{ed1} = q \cdot L^2 / 8$$

dove:

- L è la luce della trave (6,10 m);
- q è il carico distribuito (0,603 kN/m).

Perciò: $M_{Ed1} = 2,8 \text{ kNm}$

Verifica momento flettente - Caso 2: trave con vincolo appoggio-appoggio e due carichi concentrati (travi secondarie)

Si calcola il momento massimo per trave con vincolo appoggio-appoggio e carico concentrato p quale il peso della trave secondaria scelta.

$$M_{ed2} = p \cdot L / 3$$

dove:

- L è la luce della trave (6,10 m);
- p è il carico concentrato (calcolato come $q \cdot L / 2 = 12,34 \cdot 5 / 2 = 30,83 \text{ kN}$).

Perciò: $M_{Ed2} = 62,72 \text{ kNm}$

Verifica del momento

Una volta calcolate i momenti dei due casi tramite il principio di sovrapposizione degli effetti è stato possibile calcolare il momento totale.

$$M_{ed} = M_{ed1} + M_{ed2} = 65,67 \text{ kNm}$$

In conclusione: $M_{ed}/M_{c,rd} = 0,33 \leq 1 \rightarrow$ Verificato

Verifica azione tagliante

Per eseguire tale verifica si tiene in considerazione i valori ricavati con la SLU.

La normativa NTC 18, §4.2.4.1.2.4 afferma che il valore di calcolo dell'azione tagliante di progetto V_{Ed} deve rispettare la condizione:

$$V_{ed}/V_{c,rd} \leq 1$$

dove:

- V_{ed} è il taglio massimo calcolato (kN);
- $V_{c,rd}$ è la resistenza di calcolo a taglio (kN), che in assenza di torsione, vale:

$$V_{c,rd} = A_v \cdot f_{yk} / \sqrt{3} \cdot \gamma_{mo}$$

dove:

- f_{yk} è la resistenza caratteristica a snervamento dell'acciaio S275, vale 275 MPa;
- γ_{mo} è il coefficiente di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità che nel nostro caso vale 1,05;
- A_v è l'area resistente a taglio, che per profilati ad I e ad H caricati si può calcolare con la seguente formula: $A_v = A - (2b \cdot e) + (a + 2 \cdot r) \cdot e = 2518 \text{ mm}^2$

dove:

- A è l'area lorda della sezione del profilo;
- b è la larghezza delle ali per i profilati e la larghezza per le sezioni cave;
- r è il raggio di raccordo tra anima ed ala;
- e è lo spessore delle ali;
- a è lo spessore dell'anima.

Si è quindi calcolato $V_{c,rd} = 380,75 \text{ kN}$

Verifica azione tagliante - Caso 1: trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito (peso proprio trave primaria)

Si calcola il taglio massimo per trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito q quale il peso proprio della trave primaria scelta.

$$V_{ed} = q \cdot L/2$$

dove:

- L è la luce della trave, pari a 6,10m;
- q è il carico distribuito calcolato come nel momento flettente, pari a 0,603kN/m.

Perciò: $V_{Ed} = 1,8 \text{ kN}$

Verifica azione tagliante - Caso 2: trave con vincolo appoggio-appoggio e due carichi concentrati (travi secondarie)

Si calcola il taglio massimo per trave con vincolo appoggio-appoggio e carico concentrato p quale il peso della trave secondaria scelta.

$$V_{Ed2} = p$$

dove:

- p è il carico concentrato, pari a 30,409 kN.

Perciò: $V_{Ed2} = 30,409$ kN

Verifica del taglio

Una volta calcolate i tagli dei due casi tramite il principio di sovrapposizione degli effetti è stato possibile calcolare il taglio totale.

$$V_{Ed} = V_{Ed1} + V_{Ed2} = 32,689$$
 kN

In conclusione: $V_{ed}/V_{c,rd} = 0,12 \leq 1 \rightarrow$ Verificato

1.4.2. TRAVE PRIMARIA – INTERPIANO

PREDIMENSIONAMENTO – SLE

Nella determinazione dei carichi gravanti sulle travi secondarie sono stati considerati i seguenti carichi in Stato Limite di Esercizio (SLE):

G1	G2	qk (Cat. H)	Interasse l	SLE - R	Carico lineare p
kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	m	kN/m ²	kN/m
0,22	2,55	2	5	2,766	13,8

Figura IV.1.22. Carichi considerati in fase di predimensionamento

Dove il carico lineare è stato determinato moltiplicando la combinazione rara con il valore di interasse tra le travi come indicato da NTC § 4.2.4.2.1.

Si è deciso di effettuare il dimensionamento in relazione alla condizione più caricata, ovvero una secondaria della copertura in un punto centrale in condizione di appoggio-appoggio.

Si calcola a questo punto la freccia massima normativa $\delta_{max} = L/200 = 5/200 = 0,025$ m come indicato dalla tabella [4.2.XII] NTC § 4.2.4.2.2.

A questo punto si hanno tutti i dati per calcolare l'inerzia minima del profilo da scegliere, ottenuta tramite la formula:

$$I_{x_{min}} = 5/384 \cdot q \cdot L^4 / E \cdot f_{max} = 5/384 \cdot 13,8 \cdot 6,1^4 / 210000000 \cdot 0,024 = 4866 \text{ cm}^4$$

Si ipotizza la trave primaria centrale di copertura con un profilo HEA220 in acciaio laminato a caldo S-275JR caratterizzato da un'inerzia di $I_x = 5410 \text{ cm}^4$, ha una lunghezza di 6,10 m e un interasse di 5 m.

Si riportano di seguito i valori utili utilizzati poi in seguito relativamente alla trave scelta:

Profilo	HEA 220	
Acciaio	S-275	
Inerzia I _x	5410	cm ⁴
h	210	mm
t	7	mm
b	220	mm
e	11	mm
r	18	mm
Peso	50,5	kg/m
A (sezione)	64,3	cm ²
bc piattabanda	88,5	mm

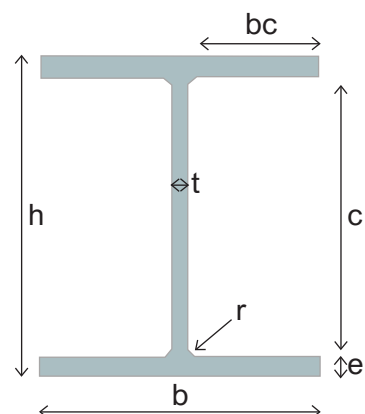


Figura IV.1.23. Dati profilo di trave primaria scelto

CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE

Al fine di classificare il profilo in base a flessione e compressione si è andati a valutare il rapporto c/t e bc/e in modo da determinare la classe di appartenenza della sezione della trave.

Per i casi più comuni delle forme delle sezioni e delle modalità di sollecitazione si seguono le Tab. 4.2.III, 4.2.VI delle NTC in quanto forniscono indicazioni per la classificazione delle sezioni.

Occorrerà svolgere due verifiche separate per le ali e l'anima, andando a valutare il rapporto lunghezza - spessore delle parti costituenti.

Innanzitutto è utile calcolare il valore di ε in quanto verrà utilizzato per le verifiche seguenti:

$$\varepsilon = \sqrt{(235/f_{yk})}$$

Nel caso del profilo ipotizzato (HEA160), tenendo conto che $f_{yk}=275 \text{ kN/mm}^2$, si avrà un valore di ε pari a 0,92.

Classificazione della sezione del profilo: verifica dell'anima

Nella parte sottoposta a flessione, è richiesto che valga la relazione:

$$c/t \leq 72\varepsilon$$

Tenendo conto delle dimensioni geometriche da profilario ($c = h - 2 \cdot e - 2 \cdot r = 152 \text{ mm}$, $t = 7 \text{ mm}$), si avrà:

$$c/t = 21,71 \leq 72\varepsilon = 66,56$$

La verifica è pertanto soddisfatta e l'anima risulta in CLASSE 1.

Verifica delle ali

Come sopra è necessario che la snellezza non superi un valore limite:

$$bc/e \leq 9\varepsilon$$

dove:

- bc è la piattabanda dell'ala ($bc = b/2 - a/2 - e = 88,5 \text{ mm}$);
- e è lo spessore dell'ala ($e = 11 \text{ mm}$).

Recuperate le informazioni geometriche da profilario, e sostituendo i valori numerici:

$$bc/e = 8,05 \leq 9\varepsilon = 7,94$$

La verifica è pertanto soddisfatta e le ali risulta in CLASSE 1.

Si può quindi concludere che l'intero profilo risulti in CLASSE 1.

VERIFICA DI SICUREZZA ALLO STATO LIMITE ESERCIZIO (SLE)

Come nel caso della primaria della copertura si applica il principio della sovrapposizione degli effetti.

Verifica freccia – Caso 1: trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito (peso proprio trave primaria)

Si calcola la freccia massima per trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito q quale il peso proprio della trave primaria scelta.

La freccia massima elastica viene calcolata tramite la formula:

$$f_{max} = 5/384 \cdot q \cdot L^4 / E \cdot I = 5/384 \cdot 0,505 \cdot 6,10^4 / 210000000 \cdot 0,00005 = 0,0008m$$

Dove il carico q è il peso proprio della trave stessa.

Perciò: $f_{max1} = 0,0008m$

Verifica freccia – Caso 2: trave con vincolo appoggio-appoggio e due carichi concentrati (travi secondarie)

Usando la formula:

$$f_{max2} = [p \cdot a \cdot (3 \cdot L^2 - 4 \cdot a)] / 24 \cdot E \cdot I = 0,0098m$$

Una volta calcolate le diverse frecce dei due casi tramite il principio di sovrapposizione degli effetti è stato possibile calcolare la freccia totale.

$$\delta_{max} = f_{max1} + f_{max2} = 0,0008 + 0,0097 = 0,0105 \text{ cm}$$

La δ_{max} deve essere divisa per L per poter essere confrontata con la δ_{lim}/L da normativa (1/200):

$$\delta_{max}/L = 0,0017 \leq 1/200 = 0,004 \rightarrow \text{Verificato}$$

Verifica freccia elastica

Viene calcolata in seguito la freccia elastica σ_2 della trave primaria partendo dai dati seguenti:

Luce trave L	Carico variabile q	Modulo elastico E	Inerzia I
m	kN/m	kN/m²	m⁴
6,1	10	210000000	0,00005410

Figura IV.1.24. Valori considerati per calcolo freccia elastica

La freccia massima elastica viene calcolata tramite la formula:

$$f_{el} = 5/384 \cdot q \cdot L^4 / E \cdot I$$

dove:

- q è il carico lineare distribuito derivante dai carichi variabili (kN/m);
- L è la luce della trave (m);
- E è il modulo elastico dell'acciaio (kN/m²);
- I è l'inerzia della sezione (m⁴).

La freccia massima è risultata essere: $f_{el} = 0,0158m$

La f_{el} deve essere divisa per L per poter essere confrontata con la δ_2/L da normativa (1/250):

$$f_{el} / L = 0,0026 \leq 1/250 = 0,004 \rightarrow \text{Verificato}$$

VERIFICA DI SICUREZZA ALLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU)

Anche in questo caso si studiano due casi separati.

La normativa NTC 2018, § 4.2.4.1.2.3 afferma che il valore di calcolo del momento flettente di progetto M_{Ed} deve rispettare la condizione:

$$M_{Ed}/M_{c,Rd} \leq 1$$

Si è quindi calcolato per le sezioni di classe 1 e 2 $M_{c,Rd}$:

$$M_{c,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yk} / \gamma_{mo}$$

dove:

- W_{pl} è modulo resistenza plastico profilo derivante dal produttore, per un profilo HEA220 è pari a 568cm^3 ;
- f_{yk} è la resistenza caratteristica a snervamento dell'acciaio S275, vale 275 MPa;
- γ_{mo} è il coefficiente di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità, che nel nostro caso vale 1,05 (Tab 4.2.VII)

Perciò: $M_{c,Rd} = 148,76\text{kNm}$

Verifica momento flettente - Caso 1: trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito (peso proprio trave primaria)

Si calcola il momento massimo per trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito q quale il peso proprio della trave primaria scelta.

$$M_{Ed1} = q \cdot L^2 / 8$$

dove:

- L è la luce della trave (6,10 m);
- q è il carico distribuito (0,51 kN/m).

Perciò: $M_{Ed1} = 2,34\text{kNm}$

Verifica momento flettente - Caso 2: trave con vincolo appoggio-appoggio e due carichi concentrati (travi secondarie)

Si calcola il momento massimo per trave con vincolo appoggio-appoggio e carico concentrato p quale il peso della trave secondaria scelta.

$$M_{Ed2} = p \cdot L / 3$$

dove:

- L è la luce della trave (6,10 m);
- p è il carico concentrato (calcolato come $q \cdot L / 2 = 8,57 \cdot 5 / 2 = 43,6\text{kN}$).

Perciò: $M_{Ed2} = 43,6\text{ kNm}$

Verifica del momento

Una volta calcolate i momenti dei due casi tramite il principio di sovrapposizione degli effetti è stato possibile calcolare il momento totale.

$$M_{Ed} = M_{Ed1} + M_{Ed2} = 46,094\text{kNm}$$

In conclusione: $M_{Ed}/M_{c,Rd} = 0,3 \leq 1 \rightarrow$ Verificato

Verifica azione tagliante

Per eseguire tale verifica si tiene in considerazione i valori ricavati con la SLU.

La normativa NTC 18, §4.2.4.1.2.4 afferma che il valore di calcolo dell'azione tagliante di progetto VEd deve rispettare la condizione:

$$V_{ed}/V_{c,rd} \leq 1$$

dove:

- V_{ed} è il taglio massimo calcolato (kN);
- V_{c,rd} è la resistenza di calcolo a taglio (kN), che in assenza di torsione, vale:

$$V_{c,rd} = A_v \cdot f_{yk} / \sqrt{3} \cdot \gamma_{mo}$$

dove:

- f_{yk} è la resistenza caratteristica a snervamento dell'acciaio S275, vale 275 MPa;
- γ_{mo} è il coefficiente di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità che nel nostro caso vale 1,05;
- A_v è l'area resistente a taglio, che per profilati ad I e ad H caricati si può calcolare con la seguente formula: $A_v = A - (2b \cdot e) + (a + 2 \cdot r) \cdot e = 2067 \text{ mm}^2$

dove:

- A è l'area lorda della sezione del profilo;
- b è la larghezza delle ali per i profilati e la larghezza per le sezioni cave;
- r è il raggio di raccordo tra anima ed ala;
- e è lo spessore delle ali;
- a è lo spessore dell'anima.

Si è quindi calcolato V_{c,rd} = 312,55kN

Verifica azione tagliante - Caso 1: trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito (peso proprio trave primaria)

Si calcola il taglio massimo per trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito q quale il peso proprio della trave primaria scelta.

$$V_{ed} = q \cdot L/2$$

dove:

- L è la luce della trave, pari a 6,10m;
- q è il carico distribuito calcolato come nel momento flettente, pari a 0,505N/m.

Perciò: VEd = 1,54kN

Verifica azione tagliante - Caso 2: trave con vincolo appoggio-appoggio e due carichi concentrati (travi secondarie)

Si calcola il taglio massimo per trave con vincolo appoggio-appoggio e carico concentrato p quale il peso della trave secondaria scelta.

$$V_{ed2} = p$$

dove:

- p è il carico concentrato, pari a 21,5kN.

perciò: VEd2 = 21,5kN

Verifica del taglio

Una volta calcolate i tagli dei due casi tramite il principio di sovrapposizione degli effetti è stato possibile calcolare il taglio totale.

$$V_{Ed} = V_{Ed1} + V_{Ed2} = 23,054 \text{ kN}$$

In conclusione: $V_{ed}/V_{c,rd} = 0,073 \leq 1 \rightarrow$ Verificato

1.5. PILASTRO**1.5.1. AZIONI DI COMPRESSIONE AGENTI PER PIANO**

Dopo aver dimensionato e verificato solaio e travi, è possibile definire il profilo dei pilastri secondo quanto stabilito dalla normativa NTC2018. Il dimensionamento è stato effettuato allo Stato Limite Ultimo (SLU) sul pilastro maggiormente gravato da carichi, ovvero uno centrale. Sul pilastro in esame scaricano quattro travi principali (HEA 220 per il piano tipo, HEA 240 per la copertura) e quattro travi secondarie (HEA 160 per piano tipo e copertura) che trasmettano all'elemento solo azioni taglianti. Il primo passo è quindi determinare l'entità dei tagli trasmessi. Si considerano:

- 2 x piano tipo;
- 1 x copertura.

INTERPIANO - HEA220

Luce	6,10	m
Interasse	5,00	m
Area di influenza	30,50	m ²
Combinazione di carico SLU	4,105	kN/m ²
Carico nell'area di influenza	125,21	kN
n° piani	2	-

Figura IV.1.25. Dati carichi interpiano

COPERTURA - HEA240

Luce	6,10	m
Interasse	5,00	m
Area di influenza	30,50	m ²
Combinazione di carico SLU	5,986	kN/m ²
Carico nell'area di influenza	182,58	kN
n° piani	1	-

Figura IV.1.26. Dati carichi copertura

Il carico totale che agisce sul solaio tipo è pari a 249,57kN ottenuto moltiplicando l'area d'influenza per la combinazione di carico SLU.

Il carico totale che agisce sul solaio tipo è pari a 182,15kN ottenuto moltiplicando l'area d'influenza per la combinazione di carico SLU.

Perciò l'azione di compressione $N_{app,Ed} : 249,57 + 182,15 = 431,73 \text{ kN}$

1.5.2. VERIFICA DI STABILITÀ

Il dimensionamento tramite verifica di stabilità richiede i seguenti passaggi:

- a. Predimensionamento del profilo;
- b. Eventuale cambio di sezione;
- c. Verifica di stabilità sulla sezione predimensionata.

PREDIMENSIONAMENTO DEL PROFILO

Verifica a compressione semplice

Ai fini di un predimensionamento è stato inizialmente imposto un coefficiente χ pari a 0,8 per trovare la sezione minima del profilo da rispettare:

$$A_{min} = \chi \cdot [\gamma_{m0} \cdot N_{app,ed} / f_{yk}] = 0,8 \cdot [1,05 \cdot 432 \cdot 10^{-3} / 275] = 1322 \text{ mm}^2$$

È scelto quindi un profilo HEA 240 con sezione di 7763 mm².

L'azione di compressione del progetto si calcola sommando all'assiale applicato alla colonna il peso proprio dell'elemento:

$$N_{Ed} = G1_{colonna} + N_{app,Ed} = 20,86 + 433 = 453,85 \text{ kN}$$

Profilo	HEA 240	
Sezione A	7763,00	mm ²
Altezza pilastro	18,6	m
Peso	60,3	kg/m
Massa	1121,58	kg
Peso proprio colonna G1	20,86	kN
Azione di compressione di prog. Ned	453,85	kN
A/Amin	5,86	>1

Figura IV.1.27. Verifica sezionale

La verifica a compressione semplice per una sezione viene prescritta dalle NTC 2018 al paragrafo 4.2.4.1.2.2 «Compressione», e deve essere svolta verificando la seguente condizione:

$$N_{ed}/N_{c,rd} \leq 1$$

dove

- N_{ed} è l'azione di compressione di progetto;
- $N_{c,rd}$ è la resistenza di progetto a compressione della sezione, che a seconda della classe di materiale ha formula:

$$N_{c,rd} = A \cdot f_{yk} / \gamma_{m0} = 7763 \cdot 275 / 1,05 = 2033,16 \text{ kN}$$

$$N_{ed}/N_{c,rd} = 0,223 > 1$$

VERIFICA DI STABILITÀ SULLA SEZIONE PRE-DIMENSIONATA

È stata eseguita la verifica di stabilità del pilastro, secondo norma NTC 2018. La verifica di stabilità di un'asta si effettua nell'ipotesi che la sezione trasversale sia uniformemente compressa (NTC §4.2.4.1.3).

Deve essere:

$$N_{ed}/N_{b,rd} \leq 1$$

dove:

- N_{ed} è il valore di compressione massima (kN);
- $N_{b,rd}$ è la resistenza a compressione (kN), che a seconda della classe di materiale ha formula:

$$N_{b,rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yk} / \gamma_{m1}$$

dove:

- γ_{M1} è il coefficiente di sicurezza per la resistenza all'instabilità delle membrane, pari a 1,05;
- A è l'area del profilo HEA240, ovvero 7763mm^2 ;
- χ dipende dal tipo di sezione e dal tipo di acciaio impegnato e deriva dalla formula:

$$\chi = 1 / \Phi + \sqrt{(\Phi^2 - \lambda^2)}$$

dove:

- λ è la snellezza normalizzata (per sezioni di classe 1, 2, 3: $\lambda = \sqrt{(A \cdot f_{yk})/N_{cr}}$);

$$N_{cr} = E \cdot I \cdot \pi^2 / l_0^2$$

N_{cr} è il carico critico elastico basato sulle proprietà della sezione lorda e sulla lunghezza di libera inflessione l_0 dell'asta, calcolato per la modalità di collasso per instabilità appropriata. Poiché il pilastro è vincolato ad ogni piano come lunghezza di libera inflessione verrà considerata la distanza interpiano maggiore, ovvero $l_0 = 6,6$ m.

- Φ è il fattore di imperfezione ed è pari a $\Phi = 0,5 [1 + \alpha (\lambda - 0,2) + \lambda^2]$

Il fattore α è il fattore di imperfezione ricavabile dalla Tab 4.2.VIII della NTC2018 in base al rapporto altezza/base del profilo.

È stata effettuata la verifica a stabilità sia rispetto all'asse z-z che all'asse y-y.

Lunghezza colonna	l	6,6	m
Coeff. Condizioni di vincolo	β_y	1	-
Lunghezza di libera inflessione	$l_{0,y}$	6600	mm
Momento d'inerzia intorno all'asse	I_y	7760	cm^4
Carico critico elastico euleriano	$N_{cr,y}$	3693222	N
Area sezione	A	7763,00	mm^2
Tensione di snervamento	f_{yk}	275,00	N/mm^2
Snellezza normalizzata	λ'_y	0,76	-
Coeff. Di imperfezione	α_y	0,21	-
phi	Φ_y	0,85	-
Coeff. Riduttivo della resistenza	χ_y	0,50	-
Coeff. Di sicurezza	γ_{M1}	1,05	-
Resistenza di progetto all'instabilità	$N_{b,Rd}$	1023,41	kN
Azione di compressione di progetto	N_{ed}	453,852	kN

Figura IV.1.28 Dati riassuntivi verifica a stabilità rispetto asse y

Perciò $N_{ed}/N_{b,Rd} = 0,44 \leq 1 \rightarrow$ Verificato

Lunghezza colonna	l	6,6	m
Coeff. Condizioni di vincolo	β_y	1	-
Lunghezza di libera inflessione	$l_{0,y}$	6600	mm
Momento d'inerzia intorno all'asse	I_y	2770	cm^4

Carico critico elastico euleriano	Ncr,y	1318328,2	N
Area sezione	A	7763,0	mm ²
Tensione di snervamento	f _{yk}	275,0	N/mm ²
Snellezza normalizzata	λ _y	1,3	-
Coeff. Di imperfezione	α _y	0,3	-
phi	Φ _y	1,5	-
Coeff. Riduttivo della resistenza	χ _y	0,3	-
Coeff. Di sicurezza	γ _{M1}	1,1	-
Resistenza di progetto all'instabilità	N _{b,Rd}	588,8	kN
Azione di compressione di progetto	N _{ed}	453,9	kN

Figura IV.1.29. Dati riassuntivi verifica a stabilità rispetto asse z

Perciò $N_{ed}/N_{b,rd} = 0,77 \leq 1 \rightarrow$ Verificato

In conclusione è possibile affermare che per i pilastri saranno impiegati profili HEA 240.

1.6. AZIONE DEL VENTO

Nello specifico caso l'azione del vento risulta determinante nello sviluppo del sistema adattivo di facciata, in modo da progettare gli elementi per resistere a tale fenomeno.

1.6.1. CLASSIFICAZIONE DEL SITO

L'azione del vento è l'effetto dei fenomeni dinamici legati al movimento delle masse d'aria dell'atmosfera, che, incontrando l'ostacolo costituito dall'edificio, interagiscono con esso.

L'effetto si manifesta sotto forma di pressioni o depressioni sulle superfici della costruzione.

Rifacendosi al metodo di calcolo derivante da Eurocodice 1 nel §1.4 e NTC2018 nel §3.3, vengono riportati in seguito, in maniera riassuntiva, i dati di progetto:

- Collocazione: Parigi;
- Altitudine: 130 m s.l.m.;
- Zona: 2;
- Categoria d'esposizione: IV.

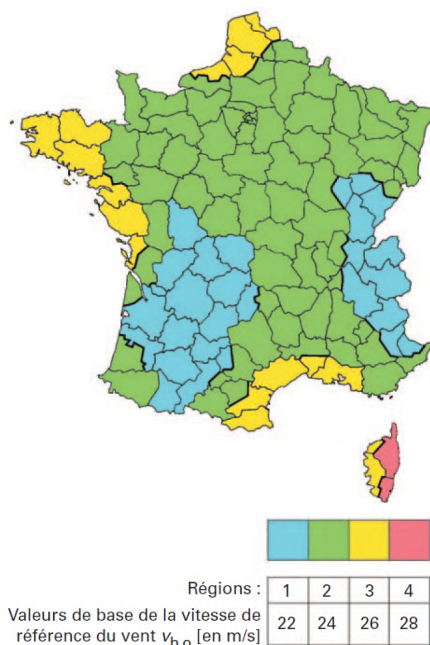


Figura IV.1.30. Parametri per la velocità di base di riferimento s.l.m $v_{b,0}$
 Fonte immagine: Construction et travaux publics

Tableau 5 – Catégories et paramètres de terrain				
Catégories de terrain	z_0 (en m)	z_{min} (en m)	k_r	k_f ($\alpha_0 = 1$)
0 – Mer, ou zone côtière, exposée aux vents de mer ; lacs et plans d'eau parcourus par le vent sur une distance d'au moins 5 km	0,005	1	0,162	1
II – Rase campagne, avec, ou non, quelques obstacles isolés (arbres, bâtiments,...) séparés les uns des autres de plus de 40 fois leur hauteur	0,05	2	0,190	0,995
IIIa – Campagne avec des haies ; vignobles ; bocage ; habitat dispersé	0,20	5	0,209	0,970
IIIb – Zones urbanisées ou industrielles ; bocage dense ; vergers	0,5	9	0,223	0,923
IV – Zones urbaines, dont au moins 15 % de la surface est recouvert de bâtiments dont la hauteur moyenne est supérieure à 15 m	1,0	15	0,234	0,854

Figura IV.1.31. Definizione delle categorie di terreno ed esposizione

Fonte immagine: Construction et travaux publics

1.6.2. VELOCITÀ DI RIFERIMENTO

La pressione (o depressione) esercitata dal vento dipende in prima istanza dalla sua velocità e si determina a partire da alcuni dati assegnati con riferimento all'ubicazione geografica ed alle caratteristiche locali del sito della costruzione.

Secondo l'appartenenza alle Zone geografiche definite nelle NTC2018, §3.3.1 e §3.3.2 ed all'altitudine sul livello del mare viene definita la velocità base di riferimento del vento v_b , fornita dall'espressione:

$$v_b = v_{b,0} \cdot c_a$$

dove:

- $v_{b,0}$: velocità base di riferimento al livello del mare che si ricava tramite tab. 3.3.1 in funzione della zona in cui sorge la costruzione;
- c_a : coefficiente di altitudine fornito dalla relazione:
 - $c_a = 1$ per $a_s \leq a_0$
 - $c_a = 1 + k_s \cdot (a_s / a_0 - 1)$ per $a_0 < a_s \leq 1500$ m

dove:

- a_0, k_s : parametri forniti nella Tab. 3.3.I in funzione della zona in cui sorge la costruzione;
- a_s : altitudine sul livello del mare del sito ove sorge la costruzione.

Perciò risulta da carta di zonaggio (Figura IV.1.30) che $v_{b,0} = 24$ m/s essendo il progetto situato a Parigi, in zona 2. L'altitudine dell'edificio a_s è a quota 130 m sul livello del mare. Essendo a_s minore di $a_0 = 1000$ m, possiamo considerare il valore di $c_a = 1$.

Per cui:

$$v_b = v_{b,0} \cdot a_0 = 24 \cdot 1 = 24 \text{ m/s}$$

Si procede poi con il calcolo della velocità di riferimento v_r fornita dall'espressione:

$$v_r = v_b \cdot c_r$$

dove:

- v_b : velocità base di riferimento precedentemente determinata;
- c_r : coefficiente di ritorno. In mancanza di specifiche e adeguate indagini statistiche, il coefficiente di ritorno è fornito dalla relazione:

$$c_r = 0,75 \sqrt{\{1 - 0,2 \ln [- \ln (1 - 1/T_R)]\}}$$

Perciò la velocità di riferimento è:

$$v_r = v_b \cdot c_r = 24,02 \text{ m/s}$$

1.6.3. PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO

La pressione cinetica di riferimento q_r è data dall'espressione:

$$q_r = \frac{1}{2} \rho \cdot v_r^2 = 353,32 \text{ N/m}^2$$

dove:

- v_r è la velocità di riferimento del vento di cui al §3.3.2;
 - ρ è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a 1,225 kg/m³.
- Esprimendo ρ in kg/m³ e v_r in m/s, q_r risulta espresso in N/m².

1.6.4. AZIONI STATICHE EQUIVALENTI

Le azioni del vento sono costituite da pressioni e depressioni agenti normalmente alle superfici, sia esterne che interne, degli elementi che compongono la costruzione. L'azione del vento sui singoli elementi che compongono la costruzione va determinata considerando la combinazione più gravosa delle pressioni agenti sulle due facce di ogni elemento. Per ottenere le azioni equivalenti, si calcola la pressione del vento, data dall'espressione:

$$p = q_r \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

dove:

- q_r : pressione cinetica di riferimento;
- c_e : coefficiente di esposizione;
- c_p : coefficiente di pressione (che dipende dalla tipologia e dalla geometria dell'edificio);
- c_d : coefficiente dinamico, assunto cautelativamente uguale a 1.

Di seguito si riportano i calcoli per la determinazione del coefficiente di esposizione c_e e per il coefficiente di pressione c_p , associate alle diverse z_p , relative alle quote dei vari piani dell'edificio.

COEFFICIENTE DI ESPOSIZIONE

Il coefficiente di esposizione c_e (NTC2018 §3.3.7) porta in conto la variazione della velocità del vento e quindi della pressione con la quota z sul terreno nel sito dove sorge la costruzione. La legge di variazione della pressione con la quota dipende da vari parametri:

- la posizione del sito con riferimento alla zona geografica, alla distanza rispetto alla linea di costa ed alla quota sul livello del mare;
- la presenza, densità e dimensioni di ostacoli al vento nell'area circostante il sito (classe di rugosità del terreno);
- la topografia del terreno circostante la costruzione.

Le classi di rugosità del terreno sono definite nella Tab. 3.3.III delle NTC2018, §3.3.7; sono previste 4 classi di rugosità: A, B, C e D. Una volta individuata la classe di rugosità pertinente, con l'ubicazione del sito (distanza dalla linea di costa e quota), mediante le Figure 3.3.2 dello stesso paragrafo, riferite alle Zone geografiche precedentemente definite, si determina la categoria di esposizione del sito. Una volta individuata la categoria di esposizione, la Tab. 3.3.II delle NTC2018, §3.3.7 fornisce i valori dei coefficienti k_r , z_0 e z_{\min} necessari per il calcolo del coefficiente di esposizione c_e , secondo l'espressione:

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z / z_0) [7 + c_t \cdot \ln(z / z_0)] =$$

$$c_e(z) = 0,222 \cdot 1 \cdot \ln(14,4/0,30) [7 + 1 \cdot \ln(14,4/0,30)] = 2,04$$

Il calcolo risulta tale poiché l'altezza z dell'edificio sul suolo è pari a 18,6m, e dunque maggiore della z_{\min} individuata dalla categoria di esposizione al sito.

Nell'espressione compare un ulteriore coefficiente, il coefficiente di topografia. Questo coefficiente è posto generalmente pari a 1, sia per le zone pianeggianti sia per quelle ondulate, collinose e montane.

Vengono riportati i coefficienti di esposizione calcolati per ogni piano dell'edificio.

Livelli	z_i	c_e
	m	-
Copertura	18,6	1,784
Piano +2	13	1,533
Piano +1	6,6	1,097

Figura IV.1.32. Coefficienti di esposizione calcolati sui piani fuori terra dell'edificio

COEFFICIENTE DINAMICO

Quanto al coefficiente dinamico c_d , per edifici di forma regolare di altezza non superiore a 80 m e per i capannoni industriali può essere assunto in maniera cautelativa il valore unitario $c_d = 1$ (NTC2018 §3.3.9).

Il coefficiente è stato previsto per poter valutare alcuni aspetti legati alla natura dinamica ed aleatoria del fenomeno e può essere:

- riduttivo per tenere conto della non contemporaneità della presenza dei valori massimi della pressione su tutta l'estensione delle superfici investite;
- incrementativo per tenere conto di eventuali oscillazioni strutturali che, interagendo con il vento, portino ad effetti più sfavorevoli.

Nello specifico caso, si è scelto di operare in regime riduttivo, con c_d pari a 1.

COEFFICIENTE DI PRESSIONE

Il coefficiente di pressione c_p , detto anche coefficiente aerodinamico o coefficiente di forma, dipende dalla tipologia e dalla geometria della costruzione e dal suo orientamento rispetto al vento. Il coefficiente di pressione è pari alla somma del coefficiente di pressione esterno c_{pe} e del coefficiente di pressione interno c_{pi} .

COEFFICIENTE DI PRESSIONE ESTERNO

Il valore può essere ricavato facendo riferimento al punto C3.3.8 della Circolare n.7, 2019. In riferimento alle costruzioni di forma regolare si definiscono tre serie di coefficienti di pressione esterna:

- c_{pe} : coefficienti globali che possono essere utilizzati in tutti i casi in cui la rappresentazione delle azioni aerodinamiche del vento possa essere effettuata in maniera semplificata, rivolta alla valutazione delle azioni globali su porzioni estese di costruzioni o delle risultanti delle azioni indotte dal vento sugli elementi principali della struttura;
- $c_{pe,10}$: consentono una rappresentazione più realistica dell'effettivo campo di pressione che si instaura sulle superfici delle costruzioni e che possono essere impiegati sia in alternativa ai coefficienti di pressione globali c_{pe} , sia per quantificare la pressione locale sugli elementi con area di incidenza maggiore o uguale a 10m²;

- $c_{pe,1}$: consentono la quantificazione della pressione locale su elementi di piccole dimensioni con un'area di incidenza minore o uguale a 1 m² (quali elementi di rivestimento ed i loro fissaggi).

Per ora si prende in considerazione il solo coefficiente globale c_{pe} .

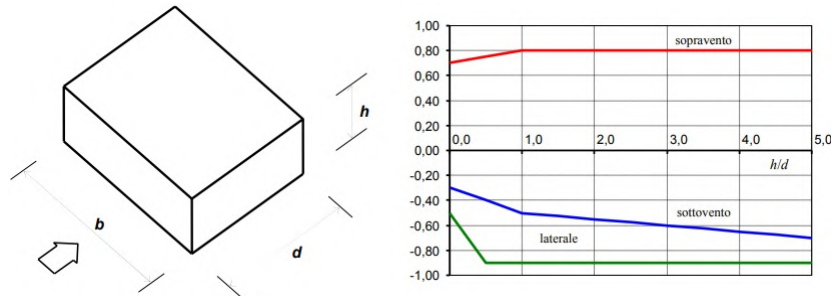


Figura IV.1.33. Coefficienti di esposizione calcolati sui piani fuori terra dell'edificio

Fonte immagine: Circolare 21 gennaio 2019

Essendo $h = 18,60\text{m}$, $d = 100\text{m}$, $b = 115\text{m}$ dell'edificio, e dunque noto il rapporto $h/d = 0,286$ e $h/b = 0,249$, i coefficienti globali di pressione esterna c_{pe} per le pareti verticali sono determinati per mezzo delle formule presenti nella tabella C.3.3.I del C.3.3.8.1.1 della Circolare n.7, 2019. Ai fini del calcolo viene considerato come d il più lungo fra i due lati del trapezio, in modo da semplificare la pianta reale a una di forma regolare, seguendo la normativa e sovrastimando l'effetto del vento, per rimanere a favore di sicurezza.

Facciata sopravvento	Facciata laterale	Facciata sottovento
$h/d \leq 1: c_{pe} = 0,7 + 0,1 \cdot h/d$	$h/d \leq 0,5: c_{pe} = -0,5 - (-0,8 \cdot h/d)$	$h/d \leq 1: c_{pe} = -0,3 - 0,2 \cdot h/d$

Figura IV.1.34. Calcoli per la determinazione dei coefficienti globali di pressione esterna c_{pe}

Si riportano in seguito i coefficienti aerodinamico c_{pe} per la facciata sopravvento, la facciata sottovento il c_{pe} laterale è nullo per via dell'orientamento. Rispettivamente:

Rapporto h/d , dove d è la lunghezza del lato corto dell'edificio:

$$\begin{aligned} c_{pe} \text{ sopravvento} &= 0,73 \\ c_{pe} \text{ sottovento} &= -0,24 \\ c_{pe} \text{ laterale} &= -0,27. \end{aligned}$$

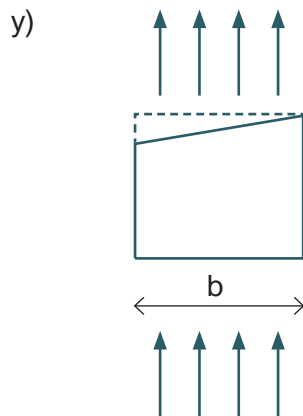
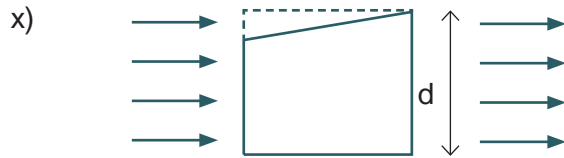
Rapporto h/b , dove d è la lunghezza del lato lungo dell'edificio:

$$\begin{aligned} c_{pe} \text{ sopravvento} &= 0,72 \\ c_{pe} \text{ sottovento} &= -0,25 \\ c_{pe} \text{ laterale} &= -0,30. \end{aligned}$$

1.6.5. CALCOLO DELLA PRESSIONE GLOBALE

Per quanto riguarda il calcolo della pressione globale influente sull'intera struttura, i coefficienti c_{pi} non vengono considerati in quanto si auto-elidono. Di conseguenza, l'unico coefficiente che definisce il c_p è quello della pressione esterna. Inoltre, le depressioni agenti sulle due facciate laterali (parallele alla direzione del vento), si fanno equilibrio tra loro e non vengono prese in considerazione nell'equilibrio globale della struttura. Viene quindi

calcolata la pressione del vento lungo la direzione x e y, considerando rispettivamente il lato corto d e il lato lungo b.



Facciata	$c_p = c_{pe}$	p
	-	N/m ²
Sopravento x	0,97	541,11
Sottovento x	-0,49	-180,32
Sopravento y	0,98	538,34
Sottovento y	-0,47	-185,86

Figura IV.1.35. Schema della pressione del vento in direzione x (in alto a sinistra)

Figura IV.1.36. Schema della pressione del vento in direzione y (in basso a sinistra)

Figura IV.1.37. Calcolo della pressione del vento (in alto)

1.6.6. CALCOLO DELLE FORZE RISULTANTI

Le facciate vengono suddivise in aree di influenza relative a ciascun impalcato: ad ogni livello la superficie investita dal vento afferente al corrispondente solaio è costituita da un rettangolo di base pari alla larghezza della facciata ed altezza uguale alla media tra gli interpiani superiore e inferiore al solaio in considerazione; la risultante è applicata all'impalcato in corrispondenza del baricentro del rettangolo.

La procedura, è riassunta nella maniera seguente:

- identificazione quota dell'impalcato sul suolo e area di facciata, considerando le altezze interpiano di 5,60 m per copertura e piano secondo e 5,80 m per il piano primo;
- alla quota di ogni impalcato si calcola il coefficiente di esposizione;
- dalla pressione cinetica di riferimento, con i coefficienti di esposizione calcolati ed il coefficiente dinamico assunto, si calcolano sia la pressione del sopravvento che la depressione sottovento;
- si calcolano le risultati F sopravvento e depressione sottovento per ciascun piano, per poi sommarle e ricavare le risultanti Ftot di tutte le azioni agenti su ciascun piano.

Lato corto

Livelli	Area	p soprav.	F soprav.	p sottov.	F sottov.	Ftot
	m ²	N/m ²	kN	N/m ²	kN	kN
Copertura	560	459,14	257,12	153,01	-85,68	171,44
Piano +2	560	394,75	221,06	131,55	-73,67	147,39
Piano +1	580	282,44	163,82	94,12	-54,59	109,23

Figura IV.1.38. Dati riassuntivi per il calcolo delle risultanti per piano in direzione x

Lato lungo

Livelli	Area m ²	p soprav. N/m ²	F soprav. kN	p sottov. N/m ²	F sottov. kN	Ftot kN
Copertura	644	456,79	294,17	157,71	-101,56	192,61
Piano +2	644	392,72	252,91	135,59	-87,32	340,23
Piano +1	667	281,00	187,43	97,01	-64,71	252,13

Figura IV.1.39. Dati riassuntivi per il calcolo delle risultanti per piano in direzione y

Successivamente è stato calcolato il taglio e il momento relativo all'edificio schematizzato come mensola. Sono stati sommati tra loro le risultanti di piano per ottenere il taglio agente, mentre per il momento si è assunto come polo l'estremo libero.



Figura IV.1.40. Schematizzazione delle forze di taglio e momento del vento

02

BLOCCO
EST

Come precisato dal capitolo precedente, di seguito si riporteranno solo le tabelle contenenti i dati e risultati dei vari calcoli effettuati per la struttura del blocco est.

2.1. ANALISI DEI CARICHI

2.1.1. CARICO PERMANENTE NON STRUTTURALE G2

Pacchetto tecnologico	Peso G2
	kN/m ²
Partizione verticale: Parete tra spazio di circolazione e edifici terziari	2
Chiusura verticale: Parete con rivestimento in rame microforato	3,15
Partizione orizzontale: solaio interpiano in alveolari	0,69
Partizione orizzontale: solaio interpiano a secco	0,55
Chiusura orizzontale: copertura piana non praticabile	3,17

Figura IV.2.1. Tabella riassuntiva carichi pacchetti tecnologici

2.1.2. CARICHI VARIABILI

Pacchetto tecnologico	qk	Qk	Hk	Neve
	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²
Solaio interpiano in alveolari (Cat.B1)	2	2	1	-
Solaio interpiano a secco (Cat.D)	4	4	2	-
Copertura piana non praticabile (Cat.H)	0,5	1,2	1	0,36

Figura IV.2.2. Tabella riassuntiva carichi variabili

2.1.3. CARICO PERMANENTE STRUTTURALE G1

ALVEOLARI – INTERPIANO

G2 - Carico permanente non strutturale solaio	G2 - Carico partizione verticale	qk- Sovraccarico per tipologia	Totale	Luce
kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	m
0,69	2	2	4,69	6,10

Figura IV.2.3. Tabella carichi per dimensionamento alveolari

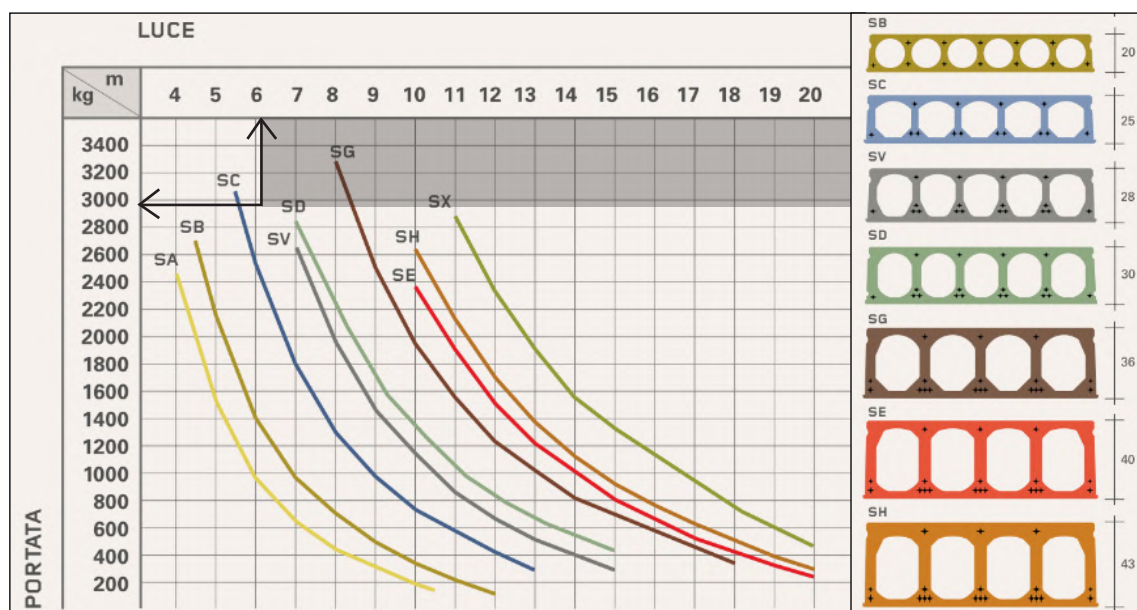


Figura IV.2.4. Tabella per dimensionamento alveolari
Fonte immagine: Generale prefabbricati S.p.a.

Alveolari ammissibili

Altezza	G1 - Carico permanente strutturale solaio
m	kN/m ²
0,36	3,87

Figura IV.2.5. Solaio scelto

LAMIERA GRECATA – INTERPIANO

G2 - Carico permanente non strutturale solaio	G2 - Carico partizione verticale	qk- Sovraccarico per tipologia	Totale	Luce
kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	m
0,54	2	4	6,54	6,10

Figura IV.2.6. Tabella carichi per dimensionamento lamiera

Sp. Th. mm	Interasse appoggi (m) / Carico uniformemente distribuito (daN/m ²)															Span (m) / Uniformly distributed load (daN/sqm)					
	CAMPATA MULTIPLA															MULTIPLE SPAN					
	Stato limite	Limit state	5,00	5,20	5,40	5,60	5,80	6,00	6,20	6,40	6,60	6,80	7,00	7,20	7,40	7,60	7,80	8,00	8,20	8,40	
0,75	SLU	ULS	409	385	363	343	324	307	291	277	263	251	239	229	219	209	200	192	184	177	
		1/150	292	275	259	245	231	219	208	198	188	179	171	163	156	149	143	137	132	127	
		1/200	292	275	259	245	231	219	208	198	188	179	171	163	156	149	143	137	132	127	
		1/250	292	275	259	245	231	219	208	198	188	179	171	163	156	149	143	137	132	127	
		1/300	292	275	259	245	231	219	208	191	182	173	158	144	131	120	110	101	92	85	
0,80	SLU	ULS	489	460	433	409	387	366	347	330	314	299	285	272	260	249	238	228	219	210	
		1/150	349	328	309	292	276	261	248	236	224	213	203	194	186	178	170	163	156	150	
		1/200	349	328	309	292	276	261	248	236	224	213	203	194	186	178	170	163	156	150	
		1/250	349	328	309	292	276	261	248	236	224	213	203	194	186	178	170	163	156	150	
		1/300	349	328	309	292	276	261	248	236	213	193	175	160	146	133	122	112	103	94	
0,88	SLU	ULS	592	556	524	494	467	442	419	398	378	360	343	327	312	299	286	274	263	252	
		1/150	423	397	374	353	333	316	299	284	270	257	245	234	223	213	204	196	188	180	
		1/200	423	397	374	353	333	316	299	284	270	257	245	234	223	213	204	196	188	180	
		1/250	423	397	374	353	333	316	299	284	270	257	245	234	223	213	204	196	188	180	
		1/300	423	397	374	353	333	316	299	261	237	215	195	178	162	148	136	124	114	109	
1,00	SLU	ULS	740	694	653	615	581	549	520	493	469	446	425	405	386	369	353	338	324	311	
		1/150	528	496	466	439	415	392	371	352	335	318	303	289	276	264	252	242	232	222	
		1/200	528	496	466	439	415	392	371	352	335	318	303	289	276	264	252	242	232	222	
		1/250	528	496	466	439	415	392	371	352	335	295	269	245	224	205	188	173	159	147	
		1/300	528	496	466	439	415	392	371	329	296	268	243	221	201	184	168	154	141	129	119
1,15	SLU	ULS	842	790	742	698	659	622	589	558	530	503	479	456	435	416	398	381	365	350	
		1/150	602	564	530	499	470	444	421	399	378	360	342	326	311	297	284	272	260	250	
		1/200	602	564	530	499	470	444	421	399	378	360	342	326	311	297	284	272	260	250	
		1/250	602	564	530	499	470	444	421	399	364	331	301	275	251	230	211	194	178	164	
		1/300	602	564	530	499	470	444	421	332	300	272	247	225	206	188	172	158	145	133	
1,25	SLU	ULS	981	919	863	811	765	722	683	647	614	583	555	528	504	481	459	440	421	403	
		1/150	701	656	616	580	546	516	488	462	438	416	396	377	360	343	328	314	301	288	
		1/200	701	656	616	580	546	516	488	462	438	416	396	377	360	343	328	314	301	288	
		1/250	701	656	616	580	546	516	488	462	396	359	327	298	273	250	229	211	194	178	
		1/300	701	656	616	580	494	444	399	360	326	296	269	245	224	204	187	172	158	145	
1,50	SLU	ULS	1243	1163	1090	1024	964	909	859	813	770	731	695	661	630	601	572	542	514	488	
		1/150	888	831	779	732	689	649	614	581	550	522	496	472	450	429	409	387	367	348	
		1/200	888	831	779	732	689	649	614	581	550	522	496	472	450	429	409	387	367	348	
		1/250	888	831	779	732	689	649	614	524	475	431	393	358	327	300	275	253	232	214	
		1/300	888	831	779	663	593	532	479	432	391	355	323	294	268	245	225	206	189	174	

Sp. Th. (mm)	DATI STATICI / STATIC DATA			PESO / WEIGHT
	Jy (cm ⁴ /m)	We inf (cm ³ /m)	We sup (cm ³ /m)	
0,75	469,04	48,83	69,92	11,78
0,80	503,89	52,60	74,83	12,56
0,88	559,96	58,70	82,71	13,82
1,00	643,91	67,94	94,54	15,70
1,15	740,5	78,90	109,02	18,06
1,25	804,89	85,71	118,41	19,63
1,50	965,88	102,72	141,83	23,55

Figura IV.2.7. Tabella per dimensionamento lamiera (sopra)

Figura IV.2.8. Tabella per determinazione G1 lamiera (sinistra)

Fonte immagini: Sandrini metalli

Quindi per uno spessore di 0,0015m si ottiene un G1 di 0,25 kN/m².

LAMIERA GRECATA – COPERTURA

G2 - Carico permanente non strutturale solaio	G2 - Carico partizione verticale	qk- Sovraccarico per tipologia	Totale	Luce
kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	m
3,16	-	0,5	3,66	6,10

Figura IV.2.9. Tabella carichi per dimensionamento lamiera

Spessore Thickness mm	Distanza fra gli appoggi in m - Supports spacing (m)																
	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00
0,8	Carico massimo uniformemente distribuito in kN/m ² - Max load capacity kN/m ²																
	6,93	6,16	5,51	4,95	4,48	4,06	3,70	3,38	3,10	2,86	2,60	2,31	2,06	1,84	1,65	1,48	1,34
1,0	8,92	7,92	7,07	6,35	5,73	5,19	4,73	4,32	3,96	3,64	3,27	2,90	2,58	2,31	2,07	1,86	1,68
											3,36	3,11	2,88	2,68	2,50	2,33	2,18
1,2	10,99	9,75	8,71	7,82	7,06	6,40	5,83	5,32	4,88	4,43	3,92	3,48	3,10	2,77	2,48	2,23	2,01
											4,49	4,14	3,83	3,56	3,31	3,08	2,88
1,35	12,43	11,04	9,86	8,85	7,99	7,24	6,60	6,03	5,53	4,98	4,40	3,90	3,48	3,11	2,79	2,50	2,26
											5,09	4,69	4,34	4,03	3,74	3,49	3,26

Figura IV.2.10. Tabella per dimensionamento lamiera

EGB 2000® GL		
Caratteristiche del profilo Section properties		
Spessore Thickness	Peso Weight	
mm	kg/m ²	kg/m
0,8	13,27	9,42
1,0	16,58	11,77
1,2	19,90	14,13
1,35	22,38	15,80

Figura IV.2.11. Tabella per determinazione G1 lamiera

Fonte immagine: Marcegaglia

Quindi per uno spessore di 0,0012m si ottiene un G1 di 0,199 kN/m².

2.2. ANALISI DI CALCOLO

2.2.1. COMBINAZIONI DI CARICO

Categoria ambiente	qk- Carichi verticali uniformemen- te distribuiti	Qk - Carichi verticali concentrati	Hk - Carichi orizzontali concentrati
	kN/m ²	kN	kN/m
D - Negozi	4	4	2
H - Coperture accessibili per manutenzione	0,5	1,2	1

Figura IV.2.12. Sovraccarichi per categoria d'uso delle costruzioni

Categoria/Azione Variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
D - Ambienti a destinazione commerciale	0,7	0,5	0,3
H - Coperture accessibili per manutenzione	0	0	0
Vento	0,6	0,2	0
Neve (quota $\leq 1000\text{m s.l.m}$)	0,5	0,2	0

Figura IV.2.13. Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione Variabile	γ	EQU	A1	A2	
Carichi permanenti strutt. G1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1	1
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1
Carichi permanenti non strutt. G2	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_Q	0	0	0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

Figura IV.2.14. Coefficienti parziali per le azioni nelle verifiche SLU

SOLAIO A SECCO - COPERTURA

Carico	Valore kN/m ²
G1: permanente strutturale	0,20
G2: permanente non strutturale	3,17
Q1: sovraccarico x tipologia	0,50
Q2: sovraccarico neve	0,36

Figura IV.2.15. Riassunto carichi

Combinazione	Valore	Considerato
SLU Combinazione fondamentale	6,01 5,53	6,01
SLE Combinazione rara	4,04 3,72	4,04
SLE Combinazione frequente	3,356 3,428	3,36
SLE Combinazione quasi permanente	3,365	3,365

Figura IV.2.16. Risultati combinazioni

SOLAIO A SECCO - INTERPIANO

Carico	Valore kN/m²
G1: permanente strutturale	0,23
G2: permanente non strutturale	0,54
Q1: sovraccarico x tipologia	4,00

Figura IV.2.17. Riassunto carichi

Combinazione	Valore	Considerato
SLU Combinazione fondamentale	7,11	7,11
SLE Combinazione rara	4,77	4,77
SLE Combinazione frequente	3,57	3,57
SLE Combinazione quasi permanente	3,17	3,17

Figura IV.2.18. Risultati combinazioni

2.3. TRAVE SECONDARIA

2.3.1. TRAVE SECONDARIA - COPERTURA

PREDIMENSIONAMENTO – SLE

G1	G2	qk (Cat. H)	Qk (neve)	Interasse l	SLE - R	Carico lineare p
kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	m	kN/m ²	kN/m
0,20	3,17	0,5	0,36	2	4,036	8,1

Figura IV.2.19. Carichi considerati in fase di predimensionamento

Si calcola a questo punto la freccia massima normativa $\delta_{max} = L/200 = 5/200 = 0,02m$ come indicato dalla tabella [4.2.XII] NTC § 4.2.4.2.2.

A questo punto si hanno tutti i dati per calcolare l'inerzia minima del profilo da scegliere, ottenuta tramite la formula:

$$I_{x_{min}} = 5/384 \cdot q \cdot L^4 / E \cdot f_{max} = 5/384 \cdot 8,1 \cdot 5^4 / 210000000 \cdot 0,02 = 1563cm^4$$

Si ipotizza la trave secondaria centrale di copertura con un profilo HEA160 in acciaio laminato a caldo S-275JR caratterizzato da un'inerzia massima di $I_x = 1673 cm^4$, ha una lunghezza di 5 m e un interasse di 2 m.

Profilo	HEA 160	
Acciaio	S-275	
Inerzia I_x	1673	cm ⁴
h	152	mm
t	6	mm
b	160	mm
e	9,5	mm
r	15	mm
Peso	30,4	kg/m
A (sezione)	38,8	cm ²
bc piattabanda	62	mm

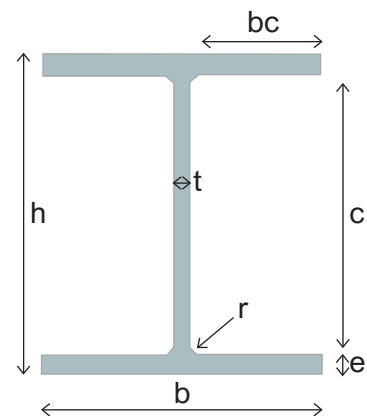


Figura IV.2.20. Dati profilo di trave secondaria scelto

Il profilo risulta essere di Classe 1.

VERIFICA DI SICUREZZA ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

Verifica freccia massima elastica

Luce L	Carico lineare p	Inerzia I	f _{max}
m	kN/m	m ⁴	m
5	8,1	1673 · 10 ⁻⁸	0,0187

Figura IV.2.21. Verifica freccia massima elastica

Poiché δ_c viene trascurato, si considera $\delta_{max} = f_{max} = 0,0187m$ perciò:

$$\delta_{max}/L = 0,0037 \leq 1/200 = 0,005 \rightarrow \text{Verificato}$$

Verifica freccia elastica δ_2

Luce L	Carico variabile q	Inerzia I		fel
m	kN/m	m ⁴	→	m
5	1,72	1673 · 10 ⁻⁸		0,004

Figura IV.2.22. Verifica freccia elastica δ_2

Perciò:

$$\delta_2/L = 0,0008 \leq 1/200 = 0,005 \rightarrow \text{Verificato}$$

VERIFICA DI SICUREZZA ALLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU)

Verifica momento flettente - trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito (peso proprio trave secondaria)

Wpl	fyk	γmo	q	L		Mc,Rd	Med
cm ³	MPa	-	kN/m	m	→	kNm	kNm
246	275	1,05	12,42	5		64,43	38,83

Figura IV.2.23. Verifica momento flettente

In conclusione: $Med/Mc,rd = 0,6 \leq 1 \rightarrow \text{Verificato}$

Verifica azione tagliante - trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito (peso proprio trave secondaria)

Av	fyk	γmo	q	L		Vc,Rd	Ved
mm ³	MPa	-	kN/m	m	→	kN	kN
1179	275	1,05	12,42	5		178,3	31

Figura IV.2.24. Verifica azione tagliante

In conclusione: $VEd/Vc,Rd = 0,17 \leq 1 \rightarrow \text{Verificato}$

Verifica a flessione e taglio

Se $VEd/Vc,rd \leq 0,5$ allora si può trascurare l'influenza del taglio sulla resistenza a flessione. Quindi visto che:

$VEd/Vc,Rd = 0,17 \leq 1$ risulta trascurabile l'influenza del taglio sulla resistenza a flessione.

2.3.2. TRAVE SECONDARIA – INTERPIANO

PREDIMENSIONAMENTO – SLE

G1	G2	qk (Cat. H)	Interasse l	SLE - R	Carico lineare p
kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	m	kN/m ²	kN/m
0,23	0,54	4	2	4,77	9,5

Figura IV.2.25. Carichi considerati in fase di predimensionamento

Si calcola a questo punto la freccia massima normativa $\delta_{max} = L/250 = 5/250 = 0,02m$ come indicato dalla tabella [4.2.XII] NTC § 4.2.4.2.2.

A questo punto si hanno tutti i dati per calcolare l'inerzia minima del profilo da scegliere, ottenuta tramite la formula:

$$I_{x_{\min}} = 5/384 \cdot q \cdot L^4 / E \cdot f_{\max} = 5/384 \cdot 9,5 \cdot 5^4 / 210000000 \cdot 0,02 = 1847 \text{ cm}^4$$

Si ipotizza la trave secondaria centrale di copertura con un profilo HEA180 in acciaio laminato a caldo S-275JR caratterizzato da un'inerzia massima di $I_x = 2510 \text{ cm}^4$, ha una lunghezza di 5 m e un interasse di 2 m.

Profilo	HEA 180	
Acciaio	S-275	
Inerzia I_x	2510	cm^4
h	171	mm
t	6	mm
b	180	mm
e	10	mm
r	15	mm
Peso	36	kg/m
A (sezione)	45	cm^2
bc piattabanda	72,0	mm

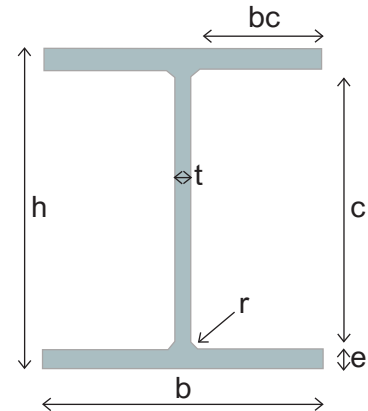


Figura IV.2.26. Dati profilo di trave secondaria scelto

Il profilo risulta essere di Classe 1.

VERIFICA DI SICUREZZA ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

Verifica freccia massima elastica

Luce L	Carico lineare p	Inerzia I		fmax
m	kN/m	m^4	→	m
5	9,5	$2510 \cdot 10^{-8}$		0,014

Figura IV.2.27. Verifica freccia massima elastica

Poiché δ_c viene trascurato, si considera $\delta_{\max} = f_{\max} = 0,0187 \text{ m}$ perciò:

$$\delta_{\max}/L = 0,0029 \leq 1/250 = 0,004 \quad \text{Verificato}$$

Verifica freccia elastica δ_2

Luce L	Carico variabile q	Inerzia I		fel
m	kN/m	m^4	→	m
5	8	$2510 \cdot 10^{-8}$		0,012

Figura IV.2.28. Verifica freccia elastica δ_2

Perciò:

$$\delta_2/L = 0,0025 \leq 1/300 = 0,003 \quad \rightarrow \quad \text{Verificato}$$

VERIFICA DI SICUREZZA ALLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU)

Verifica momento flettente - trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito (peso proprio trave secondaria)

Wpl	fyk	γmo	q	L		Mc,Rd	Med
cm³	MPa	-	kN/m	m	→	kNm	kNm
324	275	1,05	14,6	5		84,86	45,8

Figura IV.2.29. Verifica momento flettente

In conclusione: $Med/Mc,rd = 0,54 \leq 1$ Verificato

Verifica azione tagliante - trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito (peso proprio trave secondaria)

Av	fyk	γmo	q	L		Vc,Rd	Ved
mm³	MPa	-	kN/m	m	→	kN	kN
1447	275	1,05	14,6	5		218,8	36,7

Figura IV.2.30. Verifica azione tagliante

In conclusione: $VEd/Vc,Rd = 0,16 \leq 1 \rightarrow$ Verificato

Verifica a flessione e taglio

Se $VEd/Vc,rd \leq 0,5$ allora si può trascurare l'influenza del taglio sulla resistenza a flessione.

Quindi visto che:

$VEd/Vc,Rd = 0,16 \leq 1$ risulta trascurabile l'influenza del taglio sulla resistenza a flessione.

2.4. TRAVE PRIMARIA

2.4.1. TRAVE PRIMARIA - COPERTURA

PREDIMENSIONAMENTO – SLE

G1	G2	qk (Cat. H)	Qk (neve)	Interasse l	SLE - R	Carico lineare p
kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	m	kN/m ²	kN/m
0,20	3,17	0,5	0,36	5	4,036	20,2

Figura IV.2.31. Carichi considerati in fase di predimensionamento

Si calcola a questo punto la freccia massima normativa $\delta_{max} = L/250 = 5/250 = 0,02m$ come indicato dalla tabella [4.2.XII] NTC § 4.2.4.2.2.

A questo punto si hanno tutti i dati per calcolare l'inerzia minima del profilo da scegliere, ottenuta tramite la formula:

$$I_{x_{min}} = 5/384 \cdot q \cdot L^4 / E \cdot f_{max} = 5/384 \cdot 20,2 \cdot 6^4 / 210000000 \cdot 0,02 = 6756cm^4$$

Si ipotizza la trave secondaria centrale di copertura con un profilo HEA240 in acciaio laminato a caldo S-275JR caratterizzato da un'inerzia massima di $I_x = 7763 cm^4$, ha una lunghezza di 6 m e un interasse di 5 m.

Profilo	HEA 240	
Acciaio	S-275	
Inerzia I_x	7763	cm ⁴
h	230	mm
t	7,5	mm
b	240	mm
e	12	mm
r	21	mm
Peso	60,3	kg/m
A (sezione)	76,8	cm ²
bc piattabanda	95,2	mm

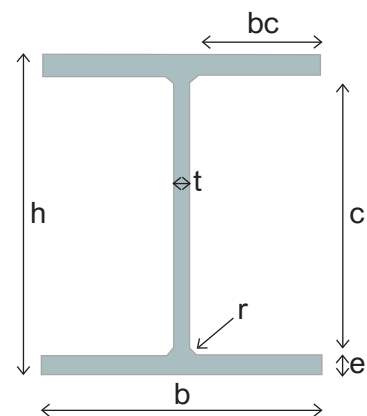


Figura IV.2.32. Dati profilo di trave secondaria scelto

Il profilo risulta essere di Classe 1.

VERIFICA DI SICUREZZA ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

Si applica il principio della sovrapposizione degli effetti.

Verifica freccia – Caso 1: trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito (peso proprio trave primaria)

Luce L	Carico distribuito q	Inerzia I	f _{max1}
m	kN/m	m ⁴	m
6	8,1	7763 · 10 ⁻⁸	0,006

Figura IV.2.33. Verifica freccia massima elastica 1

Verifica freccia – Caso 2: trave con vincolo appoggio-appoggio e due carichi concentrati (travi secondarie).

Luce L	Carico concentrato p	Inerzia I	fmax2
m	kN/m	m ⁴	m
6	20,1	7763 · 10 ⁻⁸	0,012

Figura IV.2.34. Verifica freccia massima elastica 2

Tramite il principio di sovrapposizione degli effetti si calcola la freccia massima totale:

$$\delta_{max} = f_{max1} + f_{max2} = 0,006 + 0,012 = 0,019 \text{ cm}$$

La δ_{max} deve essere divisa per L per poter essere confrontata con la δ_{lim}/L da normativa (1/200):

$$\delta_{max}/L = 0,0019 \leq 1/200 = 0,005 \rightarrow \text{Verificato}$$

Verifica freccia elastica

Luce L	Carico variabile q	Inerzia I	fel
m	kN/m	m ⁴	m
6	4,3	7763 · 10 ⁻⁸	0,004

Figura IV.2.35. Verifica freccia elastica δ_2

Perciò:

$$\delta_2/L = 0,0007 \leq 1/250 = 0,004 \rightarrow \text{Verificato}$$

VERIFICA DI SICUREZZA ALLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU)

Verifica momento flettente – Caso 1: trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito (peso proprio trave primaria)

Wpl	fyk	γmo	Carico concentrato p	L	Mc,Rd	Med1
cm ³	MPa	-	kN/m	m	kNm	kNm
744	275	1,05	0,6	6	194,8	2,7

Figura IV.2.36. Verifica momento flettente 1

Verifica momento flettente – Caso 2: trave con vincolo appoggio-appoggio e due carichi concentrati (travi secondarie).

Wpl	fyk	γmo	Carico concentrato P	L	Mc,Rd	Med2
cm ³	MPa	-	kN	m	kNm	kNm
744	275	1,05	31	6	194,8	62,1

Figura IV.2.37. Verifica momento flettente 2

Tramite il principio di sovrapposizione degli effetti si calcola Med totale:
 $M_{Ed} = M_{Ed1} + M_{Ed2} = 2,7 + 62,1 = 64,8 \text{ kNm}$

In conclusione: $M_{Ed}/M_{c,rd} = 0,33 \leq 1 \rightarrow$ Verificato

Verifica azione tagliante – Caso 1: trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito (peso proprio trave primaria)

Av	fyk	γmo	q	L		Vc,Rd	Ved1
mm³	MPa	-	kN/m	m	\longrightarrow	kN	kN
2518	275	1,05	0,6	6		380	1,8

Figura IV.2.38. Verifica azione tagliante 1

Verifica azione tagliante – Caso 2: trave con vincolo appoggio-appoggio e due carichi concentrati (travi secondarie).

Av	fyk	γmo	P	L		Vc,Rd	Ved2
mm³	MPa	-	kN	m	\longrightarrow	kN	kN
2518	275	1,05	31	6		380	31

Figura IV.2.39. Verifica azione tagliante 2

Tramite il principio di sovrapposizione degli effetti si calcola Ved totale:
 $V_{Ed} = V_{Ed1} + V_{Ed2} = 1,8 + 31 = 32,8 \text{ kNm}$

In conclusione: $V_{Ed}/V_{c,rd} = 0,08 \leq 1 \rightarrow$ Verificato

2.4.2. TRAVE PRIMARIA - INTERPIANO

PREDIMENSIONAMENTO – SLE

G1	G2	qk (Cat. H)	Interasse l	SLE - R	Carico line- are q
kN/m²	kN/m²	kN/m²	m	kN/m²	kN/n
0,23	0,54	4	2	4,77	23,8

Figura IV.2.40. Carichi considerati in fase di predimensionamento

Si calcola a questo punto la freccia massima normativa $\delta_{max} = L/250 = 6/250 = 0,024 \text{ m}$ come indicato dalla tabella [4.2.XII] NTC § 4.2.4.2.2.

A questo punto si hanno tutti i dati per calcolare l'inerzia minima del profilo da scegliere, ottenuta tramite la formula:

$$I_{x_{min}} = 5/384 \cdot q \cdot L^4 / E \cdot f_{max} = 5/384 \cdot 23,8 \cdot 6^4 / 210000000 \cdot 0,024 = 7982 \text{ cm}^4$$

Si ipotizza la trave secondaria centrale di copertura con un profilo HEA260 in acciaio laminato a caldo S-275JR caratterizzato da un'inerzia massima di $I_x = 10450 \text{ cm}^4$, ha una lunghezza di 6 m e un interasse di 5 m.

Profilo	HEA 260	
Acciaio	S-275	
Inerzia I_x	10450	cm ⁴
h	250	mm
t	7,5	mm
b	260	mm
e	12,5	mm
r	24	mm
Peso	68,2	kg/m
A (sezione)	86,8	cm ²
bc piattabanda	102,3	mm

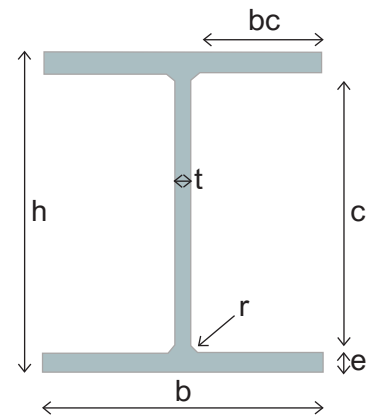


Figura IV.2.41. Dati profilo di trave secondaria scelto

Il profilo risulta essere di Classe 1.

VERIFICA DI SICUREZZA ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

Si applica il principio della sovrapposizione degli effetti.

Verifica freccia – Caso 1: trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito (peso proprio trave primaria)

Luce L	Carico distribuito q	Inerzia I		f _{max1}
m	kN/m	m ⁴	→	m
6	0,68	10450 · 10 ⁻⁸		0,0005

Figura IV.2.42. Verifica freccia massima elastica 1

Verifica freccia – Caso 2: trave con vincolo appoggio-appoggio e due carichi concentrati (travi secondarie).

Luce L	Carico concentrato p	Inerzia I		f _{max2}
m	kN/m	m ⁴	→	m
6	23,8	10450 · 10 ⁻⁸		0,008

Figura IV.2.43. Verifica freccia massima elastica 2

Tramite il principio di sovrapposizione degli effetti si calcola la freccia massima totale:
 $\delta_{max} = f_{max1} + f_{max2} = 0,0005 + 0,008 = 0,009\text{cm}$

La δ_{max} deve essere divisa per L per poter essere confrontata con la δ_{lim}/L da normativa (1/200):

$$\delta_{max}/L = 0,0014 \leq 1/250 = 0,004 \rightarrow \text{Verificato}$$

Verifica freccia elastica

Luce L	Carico variabile q	Inerzia I		f _{el}
m	kN/m	m ⁴	→	m
6	20	10450 · 10 ⁻⁸		0,015

Figura IV.2.44. Verifica freccia elastica δ_2

Perciò:

$$\delta_2/L = 0,0025 \leq 1/300 = 0,003 \rightarrow \text{Verificato}$$

VERIFICA DI SICUREZZA ALLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU)

Verifica momento flettente – Caso 1: trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito (peso proprio trave primaria)

Wpl	fyk	γ_{mo}	Carico distribuito q	L		Mc,Rd	Med1
cm³	MPa	-	kN/m	m	→	kNm	kNm
920	275	1,05	0,6	6		241	3

Figura IV.2.45. Verifica momento flettente 1

Verifica momento flettente – Caso 2: trave con vincolo appoggio-appoggio e due carichi concentrati (travi secondarie).

Wpl	fyk	γ_{mo}	Carico concentrato P	L		Mc,Rd	Med2
cm³	MPa	-	kN	m	→	kNm	kNm
920	275	1,05	36,7	6		240	73

Figura IV.2.46. Verifica momento flettente 2

Tramite il principio di sovrapposizione degli effetti si calcola Med totale:

$$MEd = MEd1 + MEd2 = 3 + 73,3 = 76,4 \text{ kNm}$$

$$\text{In conclusione: } Med/Mc,rd = 0,31 \leq 1 \rightarrow \text{Verificato}$$

Verifica azione tagliante – Caso 1: trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito (peso proprio trave primaria)

Av	fyk	γ_{mo}	q	L		Vc,Rd	Ved1
mm³	MPa	-	kN/m	m	→	kN	kN
2875	275	1,05	0,68	6		434	2

Figura IV.2.47. Verifica azione tagliante 1

Verifica azione tagliante – Caso 2: trave con vincolo appoggio-appoggio e due carichi concentrati (travi secondarie).

Av	fyk	γ_{mo}	P	L		Vc,Rd	Ved2
mm³	MPa	-	kN	m	→	kN	kN
2875	275	1,05	36,6	6		434	36,6

Figura IV.2.48. Verifica azione tagliante 2

Tramite il principio di sovrapposizione degli effetti si calcola Ved totale:

$$VEd = VEd1 + VEd2 = 2 + 36,6 = 38,6 \text{ kNm}$$

$$\text{In conclusione: } Ved/Vc,rd = 0,09 \leq 1 \rightarrow \text{Verificato}$$

2.5. PILASTRO

2.5.1. AZIONI DI COMPRESSIONE AGENTI PER PIANO

INTERPIANO - HEA260

Luce	6,10	m
Interasse	5,00	m
Area di influenza	30	m ²
Combinazione di carico SLU	7,1	kN/m ²
Carico nell'area di influenza	213	kN
n° piani	2	-

Figura IV.2.49. Dati carichi interpiano

COPERTURA - HEA240

Luce	6,10	m
Interasse	5,00	m
Area di influenza	30	m ²
Combinazione di carico SLU	5,98	kN/m ²
Carico nell'area di influenza	180,4	kN
n° piani	1	-

Figura IV.2.50. Dati carichi copertura

Il carico totale che agisce sul solaio tipo è pari a 426,4kN ottenuto moltiplicando l'area d'influenza per la combinazione di carico SLU.

Il carico totale che agisce sul solaio tipo è pari a 180,4kN ottenuto moltiplicando l'area d'influenza per la combinazione di carico SLU.

Perciò l'azione di compressione $N_{app,Ed}$: $426,4 + 180,4 = 606,8\text{kN}$

2.5.2. VERIFICA DI STABILITÀ

PREDIMENSIONAMENTO DEL PROFILO

Verifica a compressione semplice

$$A_{min} = \chi \cdot [\gamma_{mo} \cdot N_{app,ed} / f_{yk}] = 0,8 \cdot [1,05 \cdot 606 \cdot 10^3 / 275] = 1853\text{mm}^2$$

È scelto quindi un profilo HEA 260 con sezione di 8680 mm².

Profilo	HEA260	
Sezione A	8680	mm ²
Altezza pilastro	18,6	m
Peso	68,2	kg/m
Massa	1268,5	kg
Peso proprio colonna G1	23,6	kN
Azione di compressione di prog. Ned	630,4	kN
A/Amin	4,7	>1

Figura IV.2.51. Verifica sezionale

L'azione di compressione del progetto si calcola sommando all'assiale applicato alla colonna il peso proprio dell'elemento:

$$N_{Ed} = G1_{colonna} + N_{app,Ed} = 23,6 + 606,8 = 630,4\text{kN}$$

La verifica a compressione semplice deve essere svolta verificando la seguente condizione:

$$N_{ed}/N_{c,rd} \leq 1$$

$$N_{c,rd} = A \cdot f_{yk} / \gamma_{M0} = 8680 \cdot 275 / 1,05 = 2273,3 \text{ kN}$$

$$N_{ed}/N_{c,rd} = 0,277 > 1$$

VERIFICA DI STABILITÀ SULLA SEZIONE PRE-DIMENSIONATA

La verifica di stabilità di un'asta si effettua nell'ipotesi che la sezione trasversale sia uniformemente compressa (NTC §4.2.4.1.3). Deve essere:

$$N_{ed}/N_{b,rd} \leq 1$$

Dove:

- N_{ed} è il valore di compressione massima (kN);
- $N_{b,rd}$ è la resistenza a compressione (kN), che a seconda della classe di materiale ha formula: $N_{b,rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yk} / \gamma_{M1}$

È stata effettuata la verifica a stabilità sia rispetto all'asse z-z che all'asse y-y.

Lunghezza colonna	l	6,6	m
Coeff. Condizioni di vincolo	β_y	1	-
Lunghezza di libera inflessione	$l_{0,y}$	6600	mm
Momento d'inerzia intorno all'asse	I_y	10450	cm ⁴
Carico critico elastico euleriano	$N_{cr,y}$	4973476,6	N
Area sezione	A	8680,0	mm ²
Tensione di snervamento	f_{yk}	275,0	N/mm ²
Snellezza normalizzata	λ'_y	0,7	-
Coeff. Di imperfezione	α_y	0,2	-
phi	Φ_y	0,8	-
Coeff. Riduttivo della resistenza	χ_y	0,5	-
Coeff. Di sicurezza	γ_{M1}	1,1	-
Resistenza di progetto all'instabilità	$N_{b,Rd}$	1233	kN
Azione di compressione di progetto	N_{ed}	630,4	kN

Figura IV.2.52. Dati riassuntivi verifica a stabilità rispetto asse y

Perciò $N_{ed}/N_{b,rd} = 0,5 \leq 1 \rightarrow$ Verificato

Lunghezza colonna	l	6,6	m
Coeff. Condizioni di vincolo	β_y	1	-
Lunghezza di libera inflessione	$l_{0,y}$	6600	mm
Momento d'inerzia intorno all'asse	I_y	3670	cm ⁴

Carico critico elastico euleriano	Ncr,y	1746665,9	N
Area sezione	A	8680	mm ²
Tensione di snervamento	fyk	275	N/mm ²
Snellezza normalizzata	$\lambda'y$	1,2	-
Coeff. Di imperfezione	α_y	0,3	-
phi	Φ_y	1,3	-
Coeff. Riduttivo della resistenza	χ_y	0,3	-
Coeff. Di sicurezza	γ_{M1}	1,1	-
Resistenza di progetto all'instabilità	Nb,Rd	725,8	kN
Azione di compressione di progetto	Ned	630,4	kN

Figura IV.2.53. Dati riassuntivi verifica a stabilità rispetto asse z

Perciò $N_{ed}/N_{b,rd} = 0,9 \leq 1 \rightarrow$ Verificato

In conclusione è possibile affermare che per i pilastri saranno impiegati profili HEA 260.

03

BLOCCO
NORD

Di seguito si riporteranno solo le tabelle contenenti i dati e risultati dei vari calcoli effettuati per la struttura del blocco nord.

3.1. ANALISI DEI CARICHI

3.1.1. CARICO PERMANENTE NON STRUTTURALE G2

Pacchetto tecnologico	Peso G2
	kN/m ²
Partizione verticale: Parete tra spazio di circolazione e edifici terziari	2
Chiusura verticale: Parete con rivestimento in rame microforato	3,15
Partizione orizzontale: solaio interpiano in alveolari	0,69
Partizione orizzontale: solaio interpiano a secco	0,55
Chiusura orizzontale: copertura piana non praticabile	3,17

Figura IV.3.1. Tabella riassuntiva carichi pacchetti tecnologici

3.1.2. CARICHI VARIABILI

Pacchetto tecnologico	qk	Qk	Hk	Neve
	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²
Solaio interpiano in alveolari (Cat.B1)	2	2	1	-
Solaio interpiano a secco (Cat.D)	2	2	1	-
Copertura piana non praticabile (Cat.H)	0,5	1,2	1	0,36

Figura IV.3.2. Tabella riassuntiva carichi variabili

3.1.3. CARICO PERMANENTE STRUTTURALE G1

ALVEOLARI – INTERPIANO

G2 - Carico permanente non strutturale solaio	G2 - Carico partizione verticale	qk- Sovraccarico per tipologia	Sovraccarico solaio	Luce
kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	m
0,69	2	2	4,69	5,7

Figura IV.3.3. Tabella carichi per dimensionamento alveolari

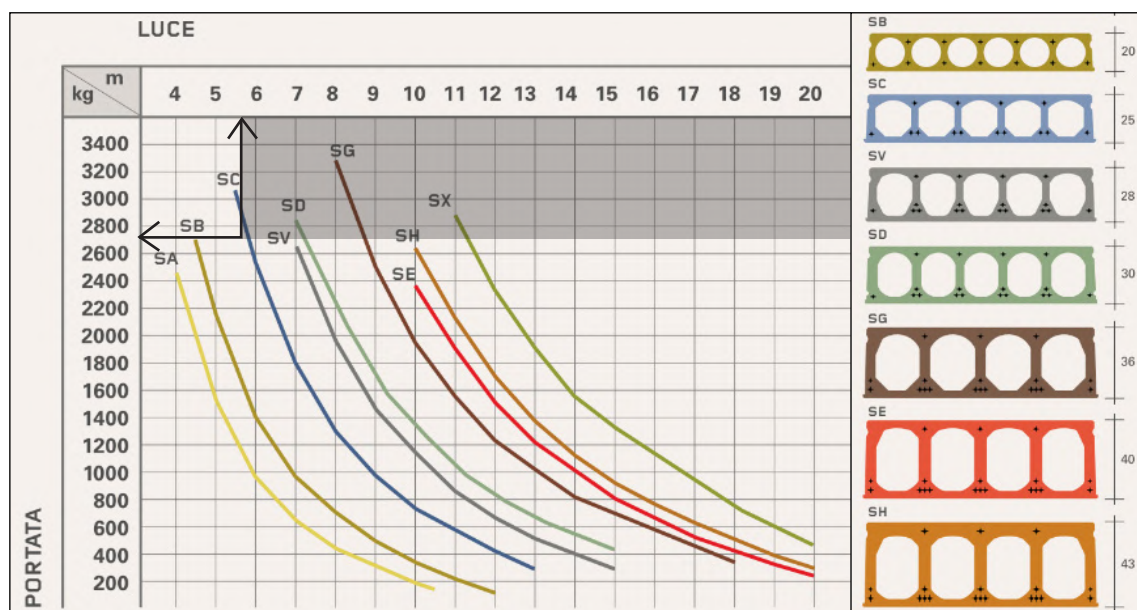


Figura IV.3.4. Tabella per dimensionamento alveolari
Fonte immagine: Generale prefabbricati S.p.a.

Alveolari ammissibili

Altezza	G1 - Carico permanente strutturale solaio
m	kN/m ²
0,3	3,23

Figura IV.3.5. Solaio scelto

LAMIERA GRECATA – INTERPIANO

G2 - Carico permanente non strutturale solaio	G2 - Carico partizione verticale	qk- Sovraccarico per tipologia	Sovraccarico solaio	Luce
kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	m
0,54	2	2	4,54	5

Figura IV.3.6. Tabella carichi per dimensionamento lamiera

EGB 2000® GL																	
Spessore Thickness	Distanza fra gli appoggi in m - Supports spacing (m)																
	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00
0,8	Carico massimo uniformemente distribuito in kN/m ² - Max load capacity kN/m ²																
	6,93	6,16	5,51	4,95	4,48	4,06	3,70	3,38	3,10	2,86	2,60	2,31	2,06	1,84	1,65	1,48	1,34
1,0	8,92	7,92	7,07	6,35	5,73	5,19	4,73	4,32	3,96	3,64	3,27	2,90	2,58	2,31	2,07	1,86	1,68
	10,99	9,75	8,71	7,82	7,06	6,40	5,83	5,32	4,88	4,43	3,92	3,48	3,10	2,77	2,48	2,23	2,01
1,2	12,43	11,04	9,86	8,85	7,99	7,24	6,60	6,03	5,53	5,09	4,69	4,34	4,03	3,74	3,49	3,26	3,04
	12,43	11,04	9,86	8,85	7,99	7,24	6,60	6,03	5,53	5,09	4,69	4,34	4,03	3,74	3,49	3,26	3,04

Figura IV.3.7. Tabella per dimensionamento lamiera (sopra)

Figura IV.3.8. Tabella per determinazione G1 lamiera (sinistra)

Fonte immagine: Marcegaglia

EGB 2000® GL		
Caratteristiche del profilo Section properties		
Spessore Thickness	Peso Weight	
mm	kg/m ²	kg/m
0,8	13,27	9,42
1,0	16,58	11,77
1,2	19,90	14,13
1,35	22,38	15,80

Quindi per uno spessore di 0,001m si ottiene un G1 di 0,16 kN/m².

LAMIERA GRECATA – COPERTURA

G2 - Carico permanente non strutturale solaio	G2 - Carico partizione verticale	qk- Sovraccarico per tipologia	Totale	Luce
kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	m
3,16	-	0,5	3,66	6,10

Figura IV.3.9. Tabella carichi per dimensionamento lamiera

EGB 2000® GL																	
Spessore Thickness	Distanza fra gli appoggi in m - Supports spacing (m)																
	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00
0,8	Carico massimo uniformemente distribuito in kN/m ² - Max load capacity kN/m ²																
	6,93	6,16	5,51	4,95	4,48	4,06	3,70	3,38	3,10	2,86	2,60	2,31	2,06	1,84	1,65	1,48	1,34
1,0	8,92	7,92	7,07	6,35	5,73	5,19	4,73	4,32	3,96	3,64	3,27	2,90	2,58	2,31	2,07	1,86	1,68
	10,99	9,75	8,71	7,82	7,06	6,40	5,83	5,32	4,88	4,43	3,92	3,48	3,10	2,77	2,48	2,23	2,01
1,2	12,43	11,04	9,86	8,85	7,99	7,24	6,60	6,03	5,53	5,09	4,69	4,34	4,03	3,74	3,49	3,26	3,04
	12,43	11,04	9,86	8,85	7,99	7,24	6,60	6,03	5,53	5,09	4,69	4,34	4,03	3,74	3,49	3,26	3,04

Figura IV.3.10. Tabella per dimensionamento lamiera

Figura IV.3.11. Tabella per dimensionamento lamiera (sopra)

Figura IV.3.12. Tabella per determinazione G1 lamiera (sinistra)

Fonte immagine: Marcegaglia

EGB 2000® GL		
Caratteristiche del profilo Section properties		
Spessore Thickness	Peso Weight	
mm	kg/m ²	kg/m
0,8	13,27	9,42
1,0	16,58	11,77
1,2	19,90	14,13
1,35	22,38	15,80

Quindi per uno spessore di 0,0008m si ottiene un G1 di 0,13 kN/m².

3.2. ANALISI DI CALCOLO

3.2.1. COMBINAZIONI DI CARICO

Categoria ambiente	qk- Carichi verticali uniformemente distribuiti	Qk - Carichi verticali concentrati	Hk - Carichi orizzontali concentrati
	kN/m ²	kN	kN/m
B1 - Uffici non aperti al pubblico	2	2	1
H - Coperture accessibili per manutenzione	0,5	1,2	1

Figura IV.3.13. Sovraccarichi per categoria d'uso delle costruzioni

Categoria/Azione Variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
D - Ambienti a destinazione commerciale	0,7	0,5	0,3
H - Coperture accessibili per manutenzione	0	0	0
Vento	0,6	0,2	0
Neve (quota ≤ 1000 m s.l.m)	0,5	0,2	0

Figura IV.3.14. Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione Variabile		γ	EQU	A1	A2
Carichi permanenti strutt. G1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1	1
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1
Carichi permanenti non strutt. G2	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_Q	0	0	0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

Figura IV.3.15. Coefficienti parziali per le azioni nelle verifiche SLU

SOLAIO A SECCO - COPERTURA

Carico	Valore kN/m ²
G1: permanente strutturale	0,13
G2: permanente non strutturale	3,17
Q1: sovraccarico x tipologia	0,50
Q2: sovraccarico neve	0,36

Figura IV.3.16. Riassunto carichi

Combinazione	Valore	Considerato
SLU Combinazione fondamentale	5,88	5,88
	5,40	
SLE Combinazione rara	3,93	3,93
	3,61	
SLE Combinazione frequente	3,25	3,25
	3,32	
SLE Combinazione quasi permanente	3,25	3,25

Figura IV.3.17. Risultati combinazioni

SOLAIO A SECCO - INTERPIANO

Carico	Valore kN/m²
G1: permanente strutturale	0,16
G2: permanente non strutturale	0,54
Q1: sovraccarico x tipologia	2,00

Figura IV.3.18. Riassunto carichi

Combinazione	Valore	Considerato
SLU Combinazione fondamentale	4	4
SLE Combinazione rara	2,7	2,7
SLE Combinazione frequente	1,7	1,7
SLE Combinazione quasi permanente	1,3	1,3

Figura IV.3.19. Risultati combinazioni

3.3. TRAVE SECONDARIA

3.3.1. TRAVE SECONDARIA - COPERTURA

PREDIMENSIONAMENTO – SLE

G1	G2	qk (Cat. H)	Qk (neve)	Interasse l	SLE - R	Carico lineare p
kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	m	kN/m ²	kN/m
0,13	3,17	0,5	0,36	1,65	3,9	6,6

Figura IV.3.20. Carichi considerati in fase di predimensionamento

Si calcola a questo punto la freccia massima normativa $\delta_{max} = L/200 = 5/200 = 0,02m$ come indicato dalla tabella [4.2.XII] NTC § 4.2.4.2.2.

A questo punto si hanno tutti i dati per calcolare l'inerzia minima del profilo da scegliere, ottenuta tramite la formula:

$$I_{x_{min}} = 5/384 \cdot q \cdot L^4 / E \cdot f_{max} = 5/384 \cdot 6,6 \cdot 5^4 / 210000000 \cdot 0,02 = 1269cm^4$$

Si ipotizza la trave secondaria centrale di copertura con un profilo HEA160 in acciaio laminato a caldo S-275JR caratterizzato da un'inerzia massima di $I_x = 1673 \text{ cm}^4$, ha una lunghezza di 5m e un interasse di 1,65m.

Profilo	HEA 160	
Acciaio	S-275	
Inerzia Ix	1673	cm ⁴
h	152	mm
t	6	mm
b	160	mm
e	9,5	mm
r	15	mm
Peso	30,4	kg/m
A (sezione)	38,8	cm ²
bc piattabanda	62	mm

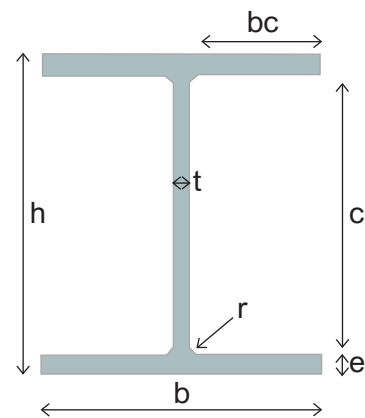


Figura IV.3.21. Dati profilo di trave secondaria scelto

Il profilo risulta essere di Classe 1.

VERIFICA DI SICUREZZA ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

Verifica freccia massima elastica

Luce L	Carico lineare p	Inerzia I	fmax
m	kN/m	m ⁴	m
5	6,6	1673 · 10 ⁻⁸	0,015

Figura IV.3.22. Verifica freccia massima elastica

Poiché δ_c viene trascurato, si considera $\delta_{max} = f_{max} = 0,015m$ perciò:

$$\delta_{max}/L = 0,003 \leq 1/200 = 0,005 \rightarrow \text{Verificato}$$

Verifica freccia elastica δ_2

Luce L	Carico variabile q	Inerzia I		fel
m	kN/m	m ⁴	→	m
5	1,42	1673 · 10 ⁻⁸		0,003

Figura IV.3.23. Verifica freccia elastica δ_2

Perciò:

$$\delta_2/L = 0,0007 \leq 1/200 = 0,005 \rightarrow \text{Verificato}$$

VERIFICA DI SICUREZZA ALLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU)Verifica momento flettente - trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito (peso proprio trave secondaria)

Wpl	fyk	γ_{mo}	q	L		Mc,Rd	Med
cm ³	MPa	-	kN/m	m	→	kNm	kNm
246	275	1,05	10,1	5		64,43	31,8

Figura IV.3.24. Verifica momento flettente

$$\text{In conclusione: } Med/Mc,rd = 0,5 \leq 1 \rightarrow \text{Verificato}$$

Verifica azione tagliante - trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito (peso proprio trave secondaria)

Av	fyk	γ_{mo}	q	L		Vc,Rd	Ved
mm ³	MPa	-	kN/m	m	→	kN	kN
1179	275	1,05	10,1	5		178,3	25,4

Figura IV.3.25. Verifica azione tagliante

$$\text{In conclusione: } VEd/Vc,Rd = 0,14 \leq 1 \rightarrow \text{Verificato}$$

Verifica a flessione e taglioSe $Ved/Vc,rd \leq 0,5$ allora si può trascurare l'influenza del taglio sulla resistenza a flessione. Quindi visto che: $VEd/Vc,Rd = 0,14 \leq 1$ risulta trascurabile l'influenza del taglio sulla resistenza a flessione.**3.3.2. TRAVE SECONDARIA – INTERPIANO****PREDIMENSIONAMENTO – SLE**

G1	G2	qk (Cat. H)	Interasse l	SLE - R	Carico lineare p
kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	m	kN/m ²	kN/m
0,16	0,54	2	1,65	2,7	4,5

Figura IV.3.26. Carichi considerati in fase di predimensionamento

Si calcola a questo punto la freccia massima normativa $\delta_{max} = L/250 = 5/250 = 0,02m$ come indicato dalla tabella [4.2.XII] NTC § 4.2.4.2.2.

A questo punto si hanno tutti i dati per calcolare l'inerzia minima del profilo da scegliere, ottenuta tramite la formula:

$$I_{x_{min}} = 5/384 \cdot q \cdot L^4 / E \cdot f_{max} = 5/384 \cdot 4,5 \cdot 5^4 / 210000000 \cdot 0,02 = 863\text{cm}^4$$

Si ipotizza la trave secondaria centrale di copertura con un profilo HEA140 in acciaio laminato a caldo S-275JR caratterizzato da un'inerzia massima di $I_x = 1033\text{cm}^4$, ha una lunghezza di 5 m e un interasse di 1,65 m.

Profilo	HEA 140	
Acciaio	S-275	
Inerzia I_x	1033	cm^4
h	133	mm
t	5,5	mm
b	140	mm
e	8,5	mm
r	12	mm
Peso	24,7	kg/m
A (sezione)	31,4	cm^2
bc piattabanda	55,3	mm

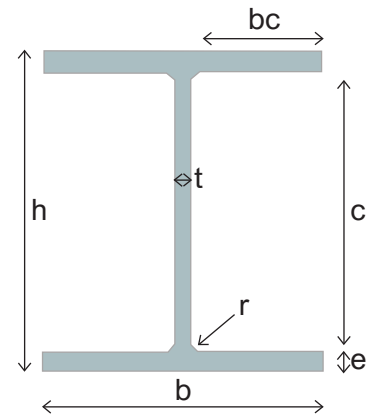


Figura IV.3.27. Dati profilo di trave secondaria scelto

Il profilo risulta essere di Classe 1.

VERIFICA DI SICUREZZA ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

Verifica freccia massima elastica

Luce L	Carico lineare p	Inerzia I	fmax
m	kN/m	m^4	m
5	4,5	$1033 \cdot 10^{-8}$	0,016

Figura IV.3.28. Verifica freccia massima elastica

Poiché δ_c viene trascurato, si considera $\delta_{max} = f_{max} = 0,0187\text{m}$ perciò:

$$\delta_{max}/L = 0,0033 \leq 1/250 = 0,004 \quad \text{Verificato}$$

Verifica freccia elastica δ_2

Luce L	Carico variabile q	Inerzia I	fel
m	kN/m	m^4	m
5	3,3	$1033 \cdot 10^{-8}$	0,012

Figura IV.3.29. Verifica freccia elastica δ_2

Perciò:

$$\delta_2/L = 0,0025 \leq 1/300 = 0,003 \quad \rightarrow \quad \text{Verificato}$$

VERIFICA DI SICUREZZA ALLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU)

Verifica momento flettente - trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito (peso proprio trave secondaria)

Wpl	fyk	γ_{mo}	q	L		Mc,Rd	Med
cm³	MPa	-	kN/m	m	→	kNm	kNm
173	275	1,05	6,9	5		45,3	21,7

Figura IV.3.30. Verifica momento flettente

In conclusione: $Med/Mc,rd = 0,47 \leq 1$ Verificato

Verifica azione tagliante - trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito (peso proprio trave secondaria)

Av	fyk	γ_{mo}	q	L		Vc,Rd	Ved
mm³	MPa	-	kN/m	m	→	kN	kN
1012	275	1,05	6,9	5		153,1	17,4

Figura IV.3.31. Verifica azione tagliante

In conclusione: $VEd/Vc,Rd = 0,11 \leq 1 \rightarrow$ Verificato

Verifica a flessione e taglio

Se $Ved/Vc,rd \leq 0,5$ allora si può trascurare l'influenza del taglio sulla resistenza a flessione.

Quindi visto che:

$VEd/Vc,Rd = 0,11 \leq 1$ risulta trascurabile l'influenza del taglio sulla resistenza a flessione.

3.4. TRAVE PRIMARIA

3.4.1. TRAVE PRIMARIA - COPERTURA

PREDIMENSIONAMENTO – SLE

G1	G2	qk (Cat. H)	Qk (neve)	Interasse l	SLE - R	Carico lineare p
kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	m	kN/m ²	kN/m
0,13	3,17	0,5	0,36	5	3,97	19,8

Figura IV.3.32. Carichi considerati in fase di predimensionamento

Si calcola a questo punto la freccia massima normativa $\delta_{max} = L/250 = 5/250 = 0,02m$ come indicato dalla tabella [4.2.XII] NTC § 4.2.4.2.2.

A questo punto si hanno tutti i dati per calcolare l'inerzia minima del profilo da scegliere, ottenuta tramite la formula:

$$I_{x_{min}} = 5/384 \cdot q \cdot L^4 / E \cdot f_{max} = 5/384 \cdot 19,8 \cdot 5^4 / 210000000 \cdot 0,02 = 3846cm^4$$

Si ipotizza la trave secondaria centrale di copertura con un profilo HEA220 in acciaio laminato a caldo S-275JR caratterizzato da un'inerzia massima di $I_x = 5410 \text{ cm}^4$, ha una lunghezza di 5 m e un interasse di 5 m.

Profilo	HEA 220	
Acciaio	S-275	
Inerzia I_x	5410	cm ⁴
h	210	mm
t	7	mm
b	220	mm
e	11	mm
r	18	mm
Peso	50,5	kg/m
A (sezione)	64,3	cm ²
bc piattabanda	88,5	mm

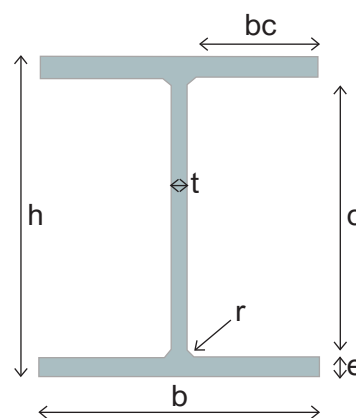


Figura IV.3.33. Dati profilo di trave secondaria scelto

Il profilo risulta essere di Classe 1.

VERIFICA DI SICUREZZA ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

Si applica il principio della sovrapposizione degli effetti.

Verifica freccia – Caso 1: trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito (peso proprio trave primaria)

Luce L	Carico distribuito q	Inerzia I	f _{max1}
m	kN/m	m ⁴	m
5	0,5	5410 · 10 ⁻⁸	0,0004

Figura IV.3.34. Verifica freccia massima elastica 1

Verifica freccia – Caso 2: trave con vincolo appoggio-appoggio e due carichi concentrati (travi secondarie).

Luce L	Carico concentrato p	Inerzia I	fmax2
m	kN/m	m ⁴	m
5	16,3	5410 · 10 ⁻⁸	0,0075

Figura IV.3.35. Verifica freccia massima elastica 2

Tramite il principio di sovrapposizione degli effetti si calcola la freccia massima totale:

$$\delta_{\max} = f_{\max 1} + f_{\max 2} = 0,0004 + 0,0075 = 0,0079 \text{ cm}$$

La δ_{\max} deve essere divisa per L per poter essere confrontata con la δ_{lim}/L da normativa (1/200):

$$\delta_{\max}/L = 0,0015 \leq 1/200 = 0,005 \rightarrow \text{Verificato}$$

Verifica freccia elastica

Luce L	Carico variabile q	Inerzia I	fel
m	kN/m	m ⁴	m
5	4,3	5410 · 10 ⁻⁸	0,003

Figura IV.3.36. Verifica freccia elastica δ_2

Perciò:

$$\delta_2/L = 0,0006 \leq 1/250 = 0,004 \rightarrow \text{Verificato}$$

VERIFICA DI SICUREZZA ALLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU)

Verifica momento flettente – Caso 1: trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito (peso proprio trave primaria)

Wpl	fyk	γmo	Carico distribuito q	L	Mc,Rd	Med1
cm ³	MPa	-	kN/m	m	kNm	kNm
568	275	1,05	0,5	5	148,7	1,5

Figura IV.3.37. Verifica momento flettente 1

Verifica momento flettente – Caso 2: trave con vincolo appoggio-appoggio e due carichi concentrati (travi secondarie).

Wpl	fyk	γmo	Carico concentrato P	L	Mc,Rd	Med2
cm ³	MPa	-	kN	m	kNm	kNm
568	275	1,05	25,4	5	148,7	42,4

Figura IV.3.38. Verifica momento flettente 2

Tramite il principio di sovrapposizione degli effetti si calcola Med totale:
 $M_{Ed} = M_{Ed1} + M_{Ed2} = 1,5 + 42,4 = 44 \text{ kNm}$

In conclusione: $M_{ed}/M_{c,rd} = 0,29 \leq 1 \rightarrow$ Verificato

Verifica azione tagliante – Caso 1: trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito (peso proprio trave primaria)

Av	fyk	γmo	q	L		Vc,Rd	Ved1
mm³	MPa	-	kN/m	m	\longrightarrow	kN	kN
2067	275	1,05	0,5	5		312	1,2

Figura IV.3.39. Verifica azione tagliante 1

Verifica azione tagliante – Caso 2: trave con vincolo appoggio-appoggio e due carichi concentrati (travi secondarie).

Av	fyk	γmo	P	L		Vc,Rd	Ved2
mm³	MPa	-	kN	m	\longrightarrow	kN	kN
2518	275	1,05	25,4	5		312	25,4

Figura IV.3.40. Verifica azione tagliante 2

Tramite il principio di sovrapposizione degli effetti si calcola Ved totale:
 $V_{Ed} = V_{Ed1} + V_{Ed2} = 1,2 + 25,4 = 26,7 \text{ kNm}$

In conclusione: $V_{ed}/V_{c,rd} = 0,08 \leq 1 \rightarrow$ Verificato

3.4.2. TRAVE PRIMARIA - INTERPIANO

PREDIMENSIONAMENTO – SLE

G1	G2	qk (Cat. H)	Interasse l	SLE - R	Carico line- are q
kN/m²	kN/m²	kN/m²	m	kN/m²	kN/n
0,16	0,54	2	5	2,7	13,5

Figura IV.3.41. Carichi considerati in fase di predimensionamento

Si calcola a questo punto la freccia massima normativa $\delta_{max} = L/250 = 5/250 = 0,02 \text{ m}$ come indicato dalla tabella [4.2.XII] NTC § 4.2.4.2.2.

A questo punto si hanno tutti i dati per calcolare l'inerzia minima del profilo da scegliere, ottenuta tramite la formula:

$$I_{x_{min}} = 5/384 \cdot q \cdot L^4 / E \cdot f_{max} = 5/384 \cdot 13,5 \cdot 5^4 / 210000000 \cdot 0,02 = 2615 \text{ cm}^4$$

Si ipotizza la trave secondaria centrale di copertura con un profilo HEA200 in acciaio laminato a caldo S-275JR caratterizzato da un'inerzia massima di $I_x = 3692 \text{ cm}^4$, ha una lunghezza di 5 m e un interasse di 5 m.

Profilo	HEA 200	
Acciaio	S-275	
Inerzia I _x	3692	cm ⁴
h	190	mm
t	6,5	mm
b	200	mm
e	10	mm
r	18	mm
Peso	42,3	kg/m
A (sezione)	53,8	cm ²
bc piattabanda	78,8	mm

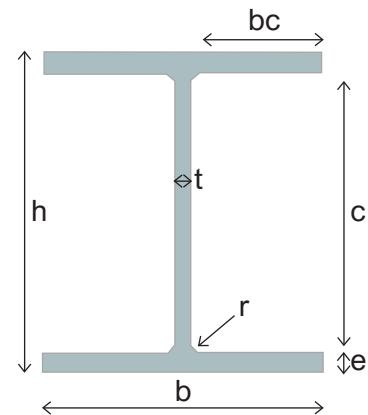


Figura IV.3.42. Dati profilo di trave secondaria scelto

Il profilo risulta essere di Classe 1.

VERIFICA DI SICUREZZA ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

Si applica il principio della sovrapposizione degli effetti.

Verifica freccia – Caso 1: trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito (peso proprio trave primaria)

Luce L	Carico distribuito q	Inerzia I	f _{max1}
m	kN/m	m ⁴	m
5	0,42	3692 · 10 ⁻⁸	0,0004

Figura IV.3.43. Verifica freccia massima elastica 1

Verifica freccia – Caso 2: trave con vincolo appoggio-appoggio e due carichi concentrati (travi secondarie).

Luce L	Carico concentrato p	Inerzia I	f _{max2}
m	kN/m	m ⁴	m
5	11,1	3692 · 10 ⁻⁸	0,006

Figura IV.3.44. Verifica freccia massima elastica 2

Tramite il principio di sovrapposizione degli effetti si calcola la freccia massima totale:
 $\delta_{max} = f_{max1} + f_{max2} = 0,0004 + 0,006 = 0,0064\text{cm}$

La δ_{max} deve essere divisa per L per poter essere confrontata con la δ_{lim}/L da normativa (1/200):

$$\delta_{max}/L = 0,0013 \leq 1/250 = 0,004 \rightarrow \text{Verificato}$$

Verifica freccia elastica

Luce L	Carico variabile q	Inerzia I	f _{el}
m	kN/m	m ⁴	m
5	10	3692 · 10 ⁻⁸	0,01

Figura IV.3.45. Verifica freccia elastica δ_2

Perciò:

$$\delta 2/L = 0,002 \leq 1/300 = 0,003 \rightarrow \text{Verificato}$$

VERIFICA DI SICUREZZA ALLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU)

Verifica momento flettente – Caso 1: trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito (peso proprio trave primaria)

Wpl	fyk	γmo	Carico distribuito q	L		Mc,Rd	Med1
cm³	MPa	-	kN/m	m	→	kNm	kNm
430	275	1,05	0,42	5		112,6	1,3

Figura IV.3.46. Verifica momento flettente 1

Verifica momento flettente – Caso 2: trave con vincolo appoggio-appoggio e due carichi concentrati (travi secondarie).

Wpl	fyk	γmo	Carico concentrato P	L		Mc,Rd	Med2
cm³	MPa	-	kN	m	→	kNm	kNm
430	275	1,05	17,3	5		112,6	28,9

Figura IV.3.47. Verifica momento flettente 2

Tramite il principio di sovrapposizione degli effetti si calcola Med totale:

$$MEd = MEd1 + MEd2 = 1,3 + 28,9 = 30,3 \text{ kNm}$$

$$\text{In conclusione: } Med/Mc,rd = 0,26 \leq 1 \rightarrow \text{Verificato}$$

Verifica azione tagliante – Caso 1: trave con vincolo appoggio-appoggio e carico distribuito (peso proprio trave primaria)

Av	fyk	γmo	q	L		Vc,Rd	Ved1
mm³	MPa	-	kN/m	m	→	kN	kN
1808	275	1,05	0,42	5		273	1,05

Figura IV.3.48. Verifica azione tagliante 1

Verifica azione tagliante – Caso 2: trave con vincolo appoggio-appoggio e due carichi concentrati (travi secondarie).

Av	fyk	γmo	P	L		Vc,Rd	Ved2
mm³	MPa	-	kN	m	→	kN	kN
1808	275	1,05	17,3	5		273	17,3

Figura IV.3.49. Verifica azione tagliante 2

Tramite il principio di sovrapposizione degli effetti si calcola Ved totale:

$$VEd = VEd1 + VEd2 = 1,05 + 17,3 = 18,4 \text{ kNm}$$

$$\text{In conclusione: } Ved/Vc,rd = 0,06 \leq 1 \rightarrow \text{Verificato}$$

3.5. PILASTRO

3.5.1. AZIONI DI COMPRESSIONE AGENTI PER PIANO

INTERPIANO - HEA200

Luce	5	m
Interasse	5	m
Area di influenza	25	m ²
Combinazione di carico SLU	4	kN/m ²
Carico nell'area di influenza	100,4	kN
n° piani	2	-

Figura IV.3.50. Dati carichi interpiano

COPERTURA - HEA220

Luce	5	m
Interasse	5	m
Area di influenza	25	m ²
Combinazione di carico SLU	5,9	kN/m ²
Carico nell'area di influenza	148,2	kN
n° piani	1	-

Figura IV.3.51. Dati carichi copertura

Il carico totale che agisce sul solaio tipo è pari a 200,8kN ottenuto moltiplicando l'area d'influenza per la combinazione di carico SLU.

Il carico totale che agisce sul solaio tipo è pari a 148,2kN ottenuto moltiplicando l'area d'influenza per la combinazione di carico SLU.

Perciò l'azione di compressione $N_{app,Ed}$: $200,8 + 148,2 = 349,1$ kN

3.5.2. VERIFICA DI STABILITÀ

PREDIMENSIONAMENTO DEL PROFILO

Verifica a compressione semplice

$$A_{min} = \chi \cdot [\gamma_{mo} \cdot N_{app,ed} / f_{yk}] = 0,8 \cdot [1,05 \cdot 349,1 \cdot 10^{-3} / 275] = 1853 \text{ mm}^2$$

È scelto quindi un profilo HEA 220 con sezione di 6430 mm².

Profilo	HEA220	
Sezione A	6430	mm ²
Altezza pilastro	18,6	m
Peso	50,5	kg/m
Massa	939,3	kg
Peso proprio colonna G1	17,4	kN
Azione di compressione di prog. Ned	366,5	kN
A/A_{min}	6	>1

Figura IV.3.52. Verifica sezionale

L'azione di compressione del progetto si calcola sommando all'assiale applicato alla colonna il peso proprio dell'elemento:

$$N_{Ed} = G1_{colonna} + N_{app,Ed} = 17,4 + 349,1 = 366,5 \text{ kN}$$

La verifica a compressione semplice deve essere svolta verificando la seguente condizione:

$$N_{ed}/N_{c,rd} \leq 1$$

$$N_{c,rd} = A \cdot f_{yk} / \gamma_{M0} = 6430 \cdot 275 / 1,05 = 1684 \text{ kN}$$

$$N_{ed}/N_{c,rd} = 0,21 > 1$$

VERIFICA DI STABILITÀ SULLA SEZIONE PRE-DIMENSIONATA

La verifica di stabilità di un'asta si effettua nell'ipotesi che la sezione trasversale sia uniformemente compressa (NTC §4.2.4.1.3). Deve essere:

$$N_{ed}/N_{b,rd} \leq 1$$

Dove:

- N_{ed} è il valore di compressione massima (kN);
- $N_{b,rd}$ è la resistenza a compressione (kN), che a seconda della classe di materiale ha formula: $N_{b,rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yk} / \gamma_{M1}$

È stata effettuata la verifica a stabilità sia rispetto all'asse z-z che all'asse y-y.

Lunghezza colonna	l	6,6	m
Coeff. Condizioni di vincolo	β_y	1	-
Lunghezza di libera inflessione	$l_{0,y}$	6600	mm
Momento d'inerzia intorno all'asse	I_y	5410	cm ⁴
Carico critico elastico euleriano	$N_{cr,y}$	2574785,5	N
Area sezione	A	6430	mm ²
Tensione di snervamento	f_{yk}	275	N/mm ²
Snellezza normalizzata	λ'_y	0,8	-
Coeff. Di imperfezione	α_y	0,2	-
phi	Φ_y	0,9	-
Coeff. Riduttivo della resistenza	χ_y	0,5	-
Coeff. Di sicurezza	γ_{M1}	1,1	-
Resistenza di progetto all'instabilità	$N_{b,Rd}$	787	kN
Azione di compressione di progetto	N_{ed}	366,6	kN

Figura IV.3.53. Dati riassuntivi verifica a stabilità rispetto asse y

Perciò $N_{ed}/N_{b,rd} = 0,5 \leq 1 \rightarrow$ Verificato

Lunghezza colonna	l	6,6	m
Coeff. Condizioni di vincolo	β_y	1	-
Lunghezza di libera inflessione	$l_{0,y}$	6600	mm
Momento d'inerzia intorno all'asse	I_y	1950	cm ⁴

Carico critico elastico euleriano	Ncr,y	928065	N
Area sezione	A	6430	mm ²
Tensione di snervamento	fyk	275	N/mm ²
Snellezza normalizzata	λ'y	1,4	-
Coeff. Di imperfezione	αy	0,3	-
phi	Φy	1,7	-
Coeff. Riduttivo della resistenza	χy	0,3	-
Coeff. Di sicurezza	γM1	1,1	-
Resistenza di progetto all'instabilità	Nb,Rd	442,3	kN
Azione di compressione di progetto	Ned	366,6	kN

Figura IV.3.54. Dati riassuntivi verifica a stabilità rispetto asse z

$$\text{Perciò } N_{ed}/N_{b,rd} = 0,8 \leq 1 \rightarrow \text{Verificato}$$

In conclusione è possibile affermare che per i pilastri saranno impiegati profili HEA 220.

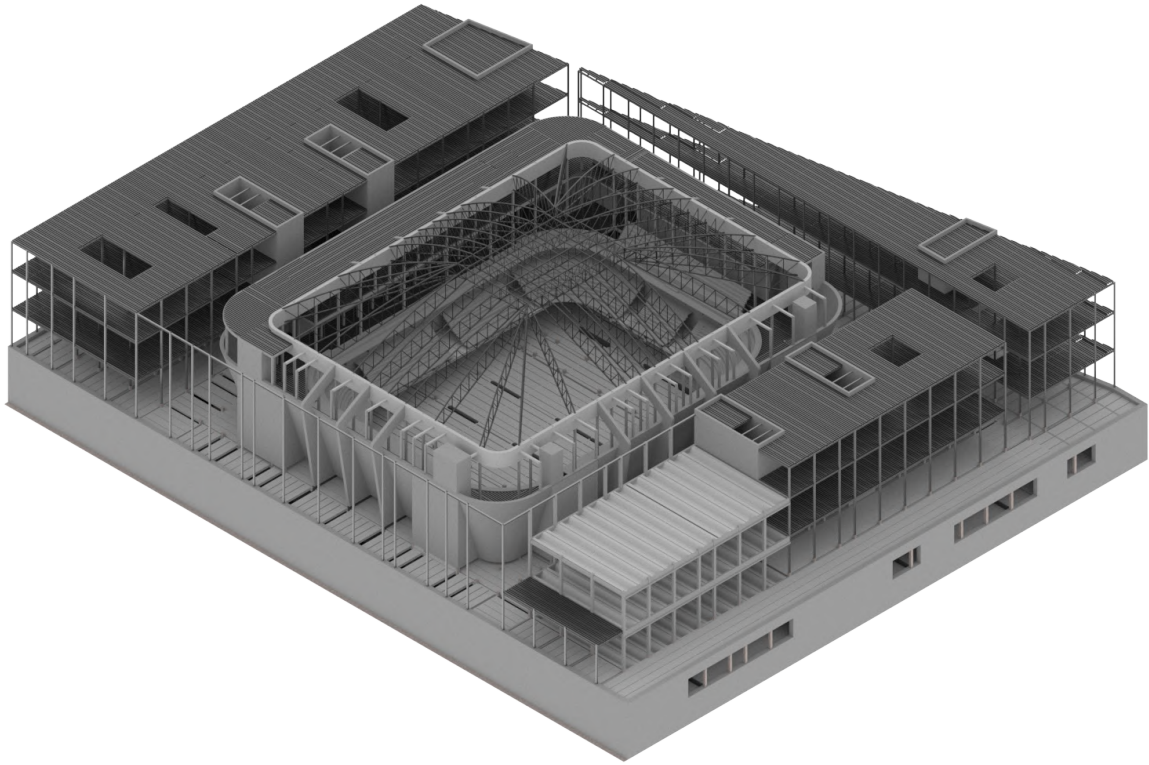


Figura IV.3.55. Struttura dell'edificio, vista sud-est

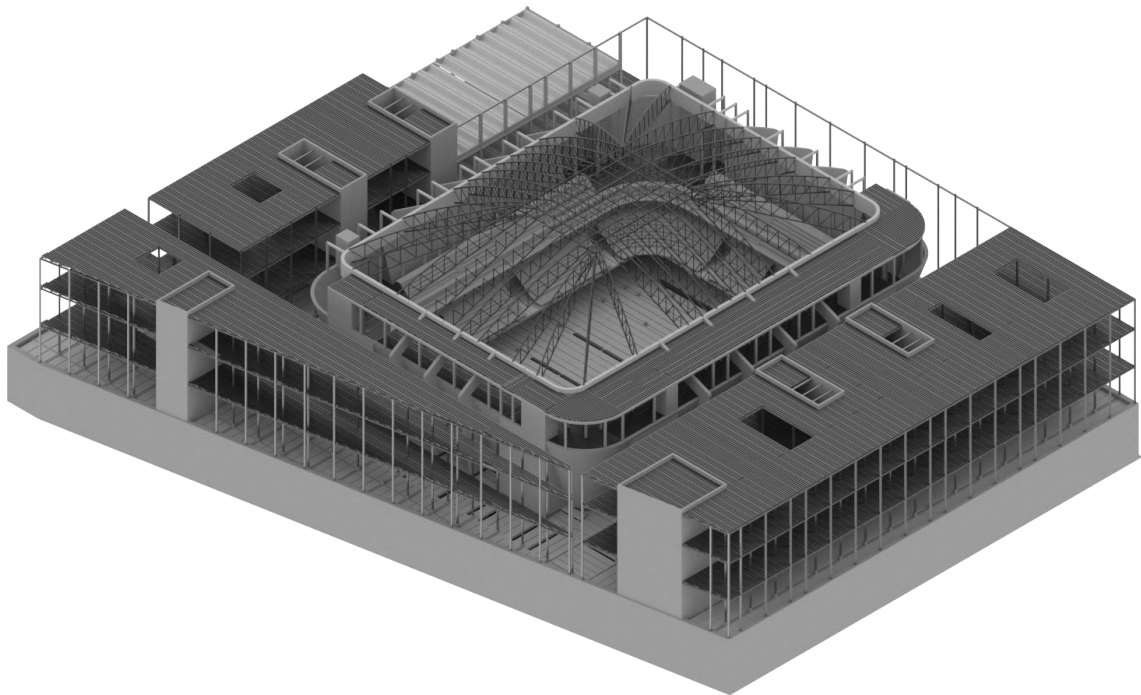


Figura IV.3.56. Struttura dell'edificio, vista nord-ovest

04

BLOCCO SPORTIVO

4.1. SPALTI

Per la realizzazione delle gradonate all'interno dell'arena si è scelto di utilizzare elementi prefabbricati in CLS compatibili con la modularità dell'impianto. Tali gradoni sono in appoggio su travi sagomate e pilastri, anch'essi prefabbricati per una più veloce e semplice modalità di montaggio.

4.1.1. GRADONI

Si è scelto un modello di gradoni di forma ad L che rimangono in posizione grazie a degli incastri presenti direttamente su ogni singolo elemento. Ogni "L" ha uno spessore di 12cm, mentre le dimensioni di alzata e pedata sono pari a 40cm. Le dimensioni ridotte della pedata sono motivate dal fatto che si è scelto di alternare un gradone di passaggio ad un gradone di sedute.

Il sistema è completato da gradini indipendenti sempre in CLS posti sopra le gradonate in modo da fornire scale di passaggio sui vari livelli e da sedute in plastica installate successivamente alla costruzione.

4.1.2. TRAVI SAGOMATE

Il sistema che porta i gradoni è costituito da travi a ginocchio sagomate autoportanti di spessore pari a 30cm, mentre le dimensioni verticali seguono l'andamento di alzata e pedata dei gradoni degli anelli. Le travi sono state disposte compatibilmente con la maglia strutturale facendo in modo che la luce tra i vari elementi non superasse mai i 3m.

Le travi autoportanti che supportano i gradoni sono appoggiate ai muri della struttura in CLS dell'arena o ai pilastri che sorreggono l'intera struttura e fissate tramite dei ganci metallici posti in sommità dei vari elementi verticali in calcestruzzo armato.

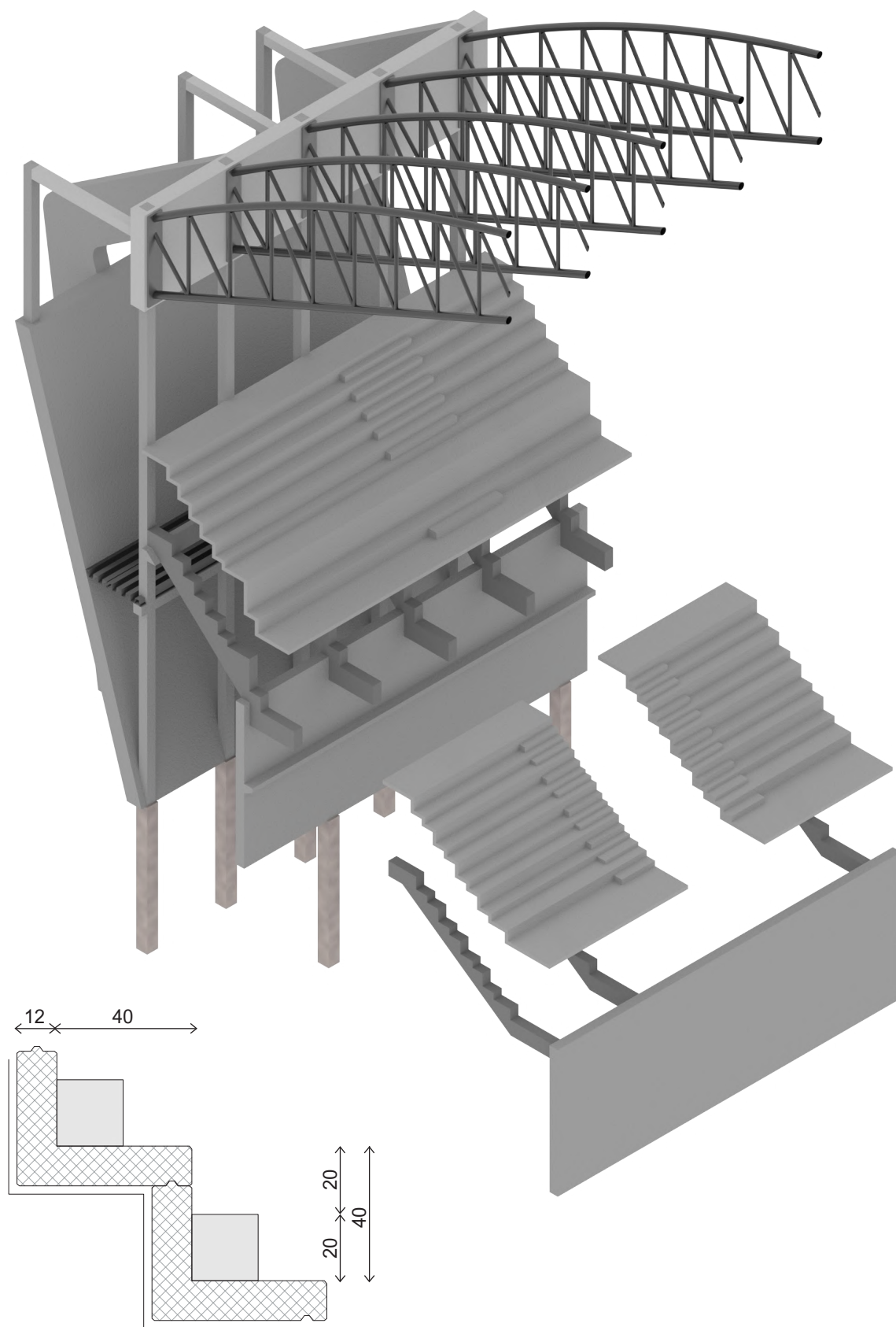


Figura IV.4.1. Esploso del sistema degli spalti (in alto)
 Figura IV.4.2. Sezione di incastro tra gradoni (in basso)

4.2. COPERTURA

4.2.1. PROGETTAZIONE

Per la progettazione delle coperture si è scelto un sistema costituito da travi reticolari in acciaio in modo da coprire le grandi luci dell'arena e al contempo garantire la leggerezza della struttura.

La copertura ha pianta rettangolare smussata agli angoli, così da assecondare la curvatura data dagli spalti ed ha dimensioni pari a 62x46m.

Per coprire tali luci si è deciso di spezzare il sistema in tre segmenti: due reticolari laterali con corrente superiore curvo in modo da mantenere la superficie della copertura curva, per volontà estetica, e una trave reticolare di raccordo delle precedenti dotata di entrambi i correnti rettilinei. Le reticolari scaricano le spinte laterali su una trave in calcestruzzo armato gettato in opera che a sua volta scarica le proprie spinte sui pilastri sottostanti e su setti in calcestruzzo posizionati ai lati dell'arena.

I pilastri in c.a. hanno sezione 30x30cm e sono dotati di armatura inserita di default da programma mentre i setti hanno spessore 50cm.

Sopra al sistema di reticolari è presente una membrana di ETFE con relativa sottostruttura in acciaio, in modo da non appesantire la struttura e al contempo permettere il passaggio della luce.

Si riportano di seguito i dati principali per il dimensionamento della copertura.

L_{\max}	62	m
G2 copertura	0,029	kN/m ²
Sovraccarico per tipologia	0,5	kN/m ²
Sovraccarico per neve	0,36	kN/m ²
Combinazione SLU	1,64	kN/m ²
σ_{\max}	310	mm

Figura IV.4.3. Valori inseriti in SAP2000 per la verifica della copertura

Da NTC2018 alla tab. 4.2.XII si è ricavato i valori di freccia massima σ_{\max} che garantissero spostamenti verticali minori di 1/200. Nel caso in questione lo spostamento massimo consentito è di 310mm ottenuto dividendo la L_{\max} per 200.

Per la verifica del sistema si è passati ad un'indagine tridimensionale tramite il software di calcolo SAP2000.

4.2.2. ANALISI 3D

È stato realizzato il modello di copertura con relative travi, pilastri e setti in SAP2000 in modo da poter studiare la deformazione del sistema.

Si è proceduto per tentativi agendo sulle dimensioni dei tubolari delle reticolari al fine di garantire che il sistema si deformato il meno possibile.

Si è deciso di mantenere sempre le dimensioni di correnti e montanti delle reticolari rettilinee minori delle dimensioni degli elementi delle reticolari curve data la diversità dei carichi da sostenere.

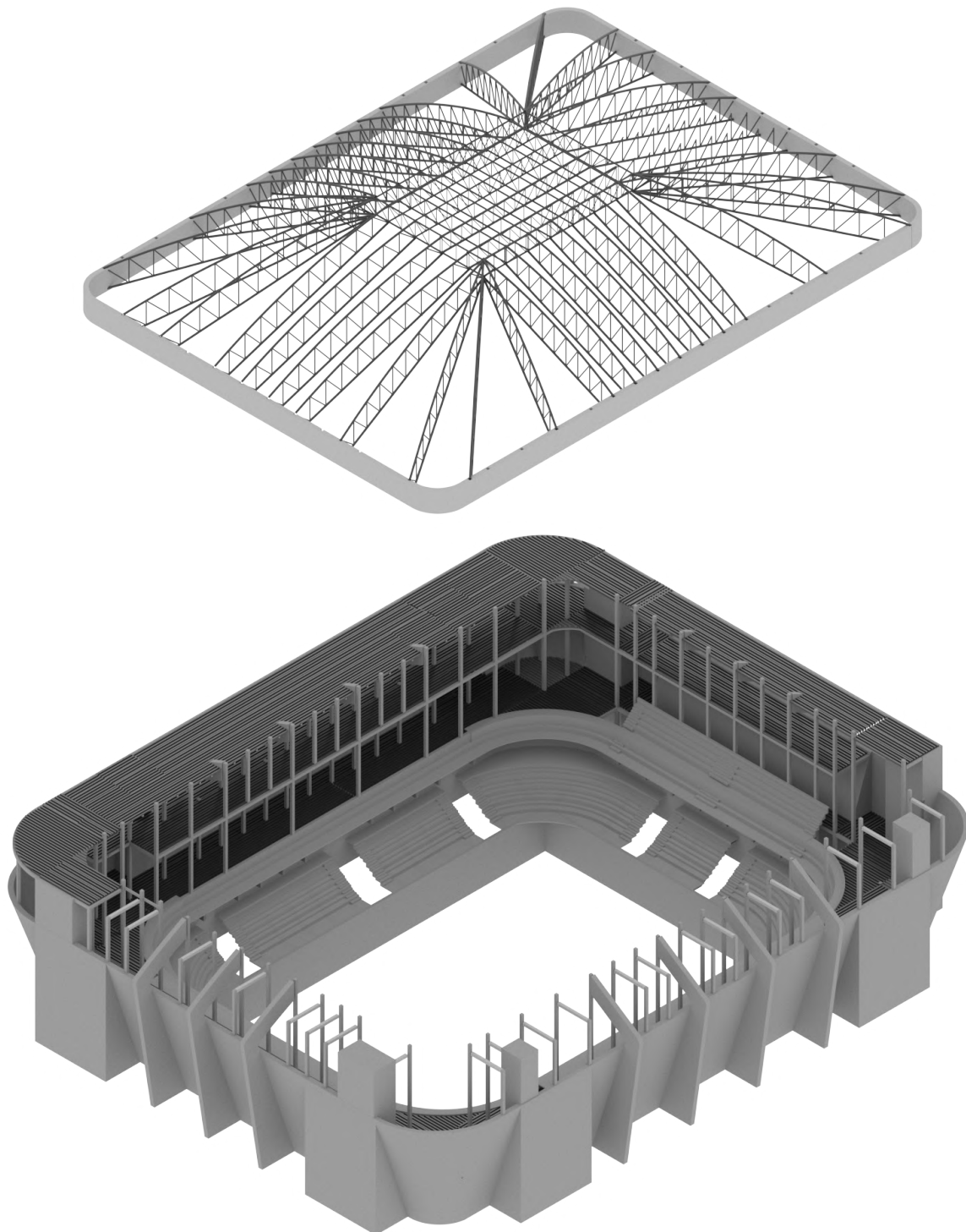


Figura IV.4.4. Esploso blocco sportivo

ASSEGNAZIONE CARICHI

Inizialmente si era proceduto alla modellazione di una mesh sottile che andasse a creare una sorta di “velo” sopra le reticolari in modo da assegnare più velocemente i carichi distribuiti G2, sovraccarico per tipologia e da neve (il G1 è calcolato in automatico dal programma sulla base dei profili scelti). Questo metodo tuttavia dava dei risultati approssimativi in quanto la mesh appoggiava solo su alcuni punti delle reticolari, di conseguenza si è deciso di assegnare ai vari nodi superiori delle reticolari il carico distribuito ottenuto moltiplicando a turno i vari valori di G2, tipologie e neve per l'area di influenza relativa ai vari nodi. Il risultato finale è costituito da reticolari nei cui nodi superiori risultano contemporaneamente assegnati G2, sovraccarico per tipologia, sovraccarico da neve ognuno moltiplicato per l'area di influenza.

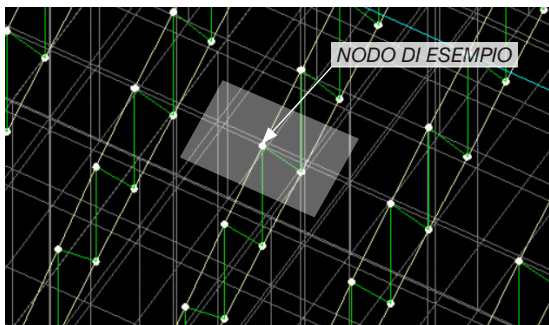


Figura IV.4.5. Esempio di area di influenza di un nodo

Load Pattern	Sovraccarico tipologie
Forza Nodale	
Sist. Coord.	GLOBAL
Forza in Z Dir	-1,
Load Pattern	Sovraccarico neve
Forza Nodale	
Sist. Coord.	GLOBAL
Forza in Z Dir	-0,74
Load Pattern	G2
Forza Nodale	
Sist. Coord.	GLOBAL
Forza in Z Dir	-0,06

Figura IV.4.6. Esempio carico agente su ogni nodo (in relazione ad area di influenza)

RISULTATI

Dalle varie simulazioni è emerso che la situazione fosse migliore con sezioni di correnti e montanti delle dimensioni seguenti:

Trave laterali			Travi centrali		
Correnti			Correnti		
Diametro	219	mm	Diametro	168	mm
Spessore	5,6	mm	Spessore	4,5	mm
Montanti			Montanti		
Diametro	114	mm	Diametro	76	mm
Spessore	5	mm	Spessore	3,6	mm

Figura IV.4.7. Dimensione profili delle travi reticolari

Con tali valori si è andati ad analizzare i risultati di deformazione finale.

Come da aspettative, la deformazione massima è localizzata nei punti centrali della piastra centrale formata da reticolari rettilinee, dove si registra una deformazione massima di circa 36mm, mentre le deformazioni minori sono concentrate alla base della copertura con valori che si aggirano intorno ai 2,5mm.

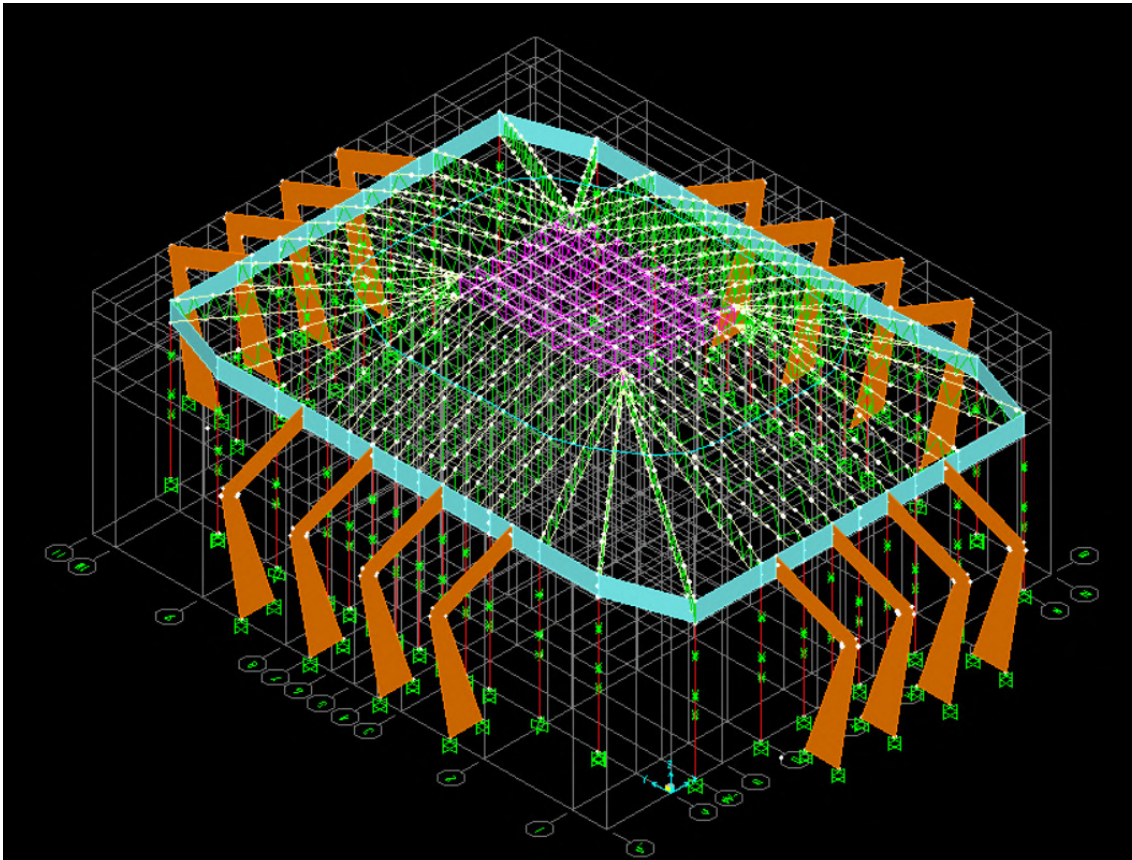


Figura IV.4.8. Modello tridimensionale della copertura su SAP2000

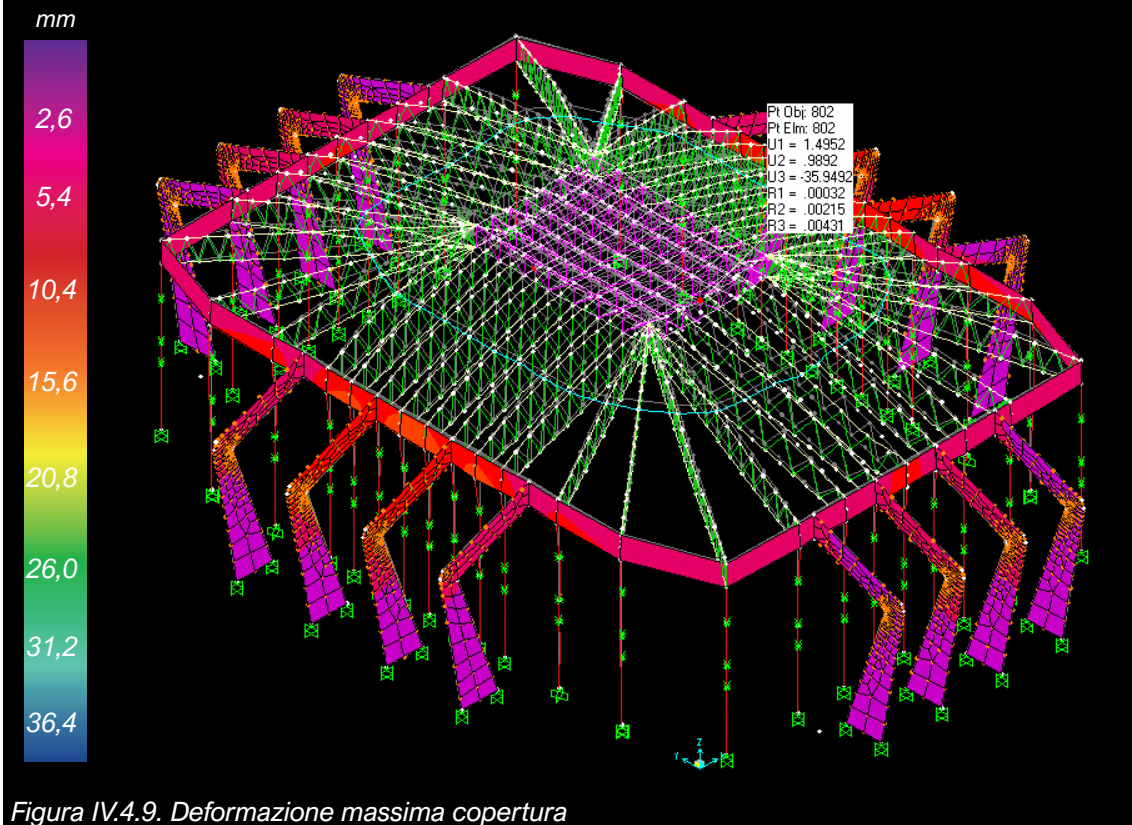


Figura IV.4.9. Deformazione massima copertura

05

INTERRATO

Una volta completata la progettazione degli spazi fuoriterza, si è proceduto con un dimensionamento di massima dei pilastri in c.a. dei piani interrati facendo riferimento al paragrafo 7.4.6.2.2 delle NTC 2018.

5.1. PILASTRO

5.1.1. PREDIMENSIONAMENTO

Si ipotizza un pilastro di sezione quadrata 40x40 cm e nei paragrafi seguenti si verifica che questa dimensione sia corretta. Viene adoperato un calcestruzzo 25/30 al fine di dimensionamenti a regime di sicurezza e acciaio B450C. Si calcola innanzitutto l'area di influenza del pilastro che risulta essere pari a 30,4m² ottenuta considerando 1/4 di ogni campata che circonda il pilastro centrale preso come riferimento. Tale valore viene moltiplicato per un coefficiente di iperstaticità pari a 1.4 ottenendo un'area di influenza pari a 42,5m².

Al fine di determinare la sezione del pilastro centrato si procede con l'analisi dei carichi gravanti su di esso. Questi carichi verranno moltiplicati per l'area di influenza maggiorata attraverso il coefficiente di iperstaticità precedentemente citato. Si riportano di seguito i valori di G1, G2 e qk del solaio interpiano in alveolari già moltiplicati per l'area di influenza corretta; questo ha permesso di ottenere i carichi assiali del pilastro.

$$G1 = 164\text{kN}$$

$$G2 = 29,3\text{kN}$$

qk = 86,3kN Il carico qk è moltiplicato anche per il coefficiente α_A pari a 1,015, secondo normativa CEN EN 1990 (Annex A1, tabella A1.1).

Totale carichi caratteristici: $F_k = 280,4\text{kN}$

Viene quindi aggiunto il carico assiale portato dai pilastri in acciaio calcolati al capitolo precedente (Capitolo 2, sezione 2.5, paragrafo 2.5.2 - Verifica di stabilità) pari a 630,4kN; si è considerato il carico del blocco est in quanto caratterizzato da pilastri di sezione maggiore e quindi più pesanti.

Questo ha permesso di ottenere il valore di azione assiale gravante sui pilastri del piano -1 pari a 910,8kN. Per ottenere il valore di azione assiale gravante sul pilastro al piano -2 si è aggiunto al valore dei carichi del -1 anche il valore del peso proprio del pilastro, pari a 19,4kN e il valore dei carichi caratteristici precedentemente calcolato in quanto gravante su di essi ottenendo un valore di carico pari a 1210,6kN.

5.1.2. DIMENSIONAMENTO DELLA SEZIONE

Per il dimensionamento della sezione del pilastro si deve calcolare l'area A_{co} , ovvero l'area minima che deve avere il pilastro scelto; questa si ottiene dividendo il carico N_{ed} per la resistenza a compressione di progetto f_{cd} , definita attraverso la seguente formula:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_{i,perc}$$

Dove:

- α_{cc} è il coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata, pari a 0.85;
- $\gamma_{i,perc}$ è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo, pari a 1.5;
- f_{ck} è la resistenza caratteristica cubica a compressione del calcestruzzo a 28 giorni, che nel caso di un calcestruzzo di classe C25/30 è pari a 25 N/mm².

Dunque, f_{cd} risulta essere pari a 14,17 N/mm².

Risultando quindi $A_{co} = N_{ed}/f_{cd} = 118138\text{mm}^2$ si conferma la scelta di un pilastro di sezione 40x40cm e di area 160.000mm².

5.1.3. DIMENSIONAMENTO ARMATURA

Per il dimensionamento dell'armatura longitudinale e trasversale si fa riferimento ai paragrafi 4.1.6.1.2 e 7.4.6.2.2 delle NTC 2018.

COPRIFERRO

Come primo passo si determina il valore di copriferro delle armature secondo la Circolare NTC2018 Tab.C4.1.IV che definisce i copriferri minimi in mm in base alle condizioni ambientali del contesto.

Ipotizzando una costruzione con vita nominale di 100 anni i valori di tale tabella vanno aumentati di 10 mm.

Perciò: $c_{min} = 25\text{ mm}$ $c_{nom} = c_{min} + \text{tolleranza (10mm)} = 35\text{mm}$

ARMATURA LONGITUDINALE

Verifica SLE

Secondo NTC 2018, paragrafo 4.1.8.1.2, viene condotta la verifica allo stato limite d'esercizio.

Coefficiente di omogeneizzazione n	6,395	-
Area omogeneizzata A_{ie}	131157,60	mm ²
Tensione massima di compressione σ_c	9,23	N/mm ²
0,6*fck	15	MPa
Verifica	$\sigma_c < 0,6 \cdot f_{ck}$	Verificato

Figura IV.5.1. Verifica SLE

dove:

- $n = E_s / E_c$
 - con:
 - $E_s = 210000000 \text{ kN/m}^2$
 - $E_c = 32837000 \text{ kN/m}^2$
- $A_{ie} = A_c + n \cdot A_s$
- $\sigma_c = N / A_{ie}$

Verifica SLU

Secondo NTC 2018, paragrafo 4.1.8.1.1, viene condotta la verifica allo stato limite ultimo.

Lato pilastro	400	mm
A_c	118138	mm ²
Copriferro c	35	mm
Diametro staffe Φ_s	16	mm
Numero tondini	8	-
Diametro tondini Φ_t	18	mm
Area effettiva armatura $A_{s,eff}$	2035,75	mm ²
ρ	1,7	%
Verifica	1% < ρ < 4%	Verificato
Distanza tra ferri d	122	mm
Distanza massima tra ferri d_{max}	250	mm
Verifica	$d < d_{max}$	Verificato

Figura IV.5.2. Dati armatura longitudinale

Azione di esercizio di progetto N_{Ed}	1673629	N
Azione resistente di progetto N_{Rd}	2135502	N
Verifica	$N_{Rd} \geq N_{Ed}$	Verificato

Figura IV.5.3. Verifica SLU

dove:

- $NRd = A_c \cdot f_{cd} \cdot 0,8 + A_s \cdot f_{yd}$
 - con:
 - $A_c = 118138 \text{ mm}^2$
 - $A_s = 2035 \text{ mm}^2$
 - $f_{cd} = 14,17 \text{ MPa}$
 - $f_{yd} = 391,3 \text{ MPa}$
- N_{ed} precedentemente calcolato.

ARMATURA TRASVERSALE

Le armature trasversali devono essere poste ad interasse non maggiore di 12 volte il diametro minimo delle barre impiegate per l'armatura longitudinale con un massimo di 250 mm. Il diametro delle staffe non deve essere minore di 6 mm e di $\frac{1}{4}$ del diametro massimo delle barre longitudinali.

Il diametro delle barre longitudinali è 18mm, perciò l'interasse delle trasversali sarà massimo 216mm. Il diametro delle staffe sarà maggiore di 6mm e di $\frac{1}{4}$ del diametro massimo delle barre longitudinali, ovvero 4,5mm.

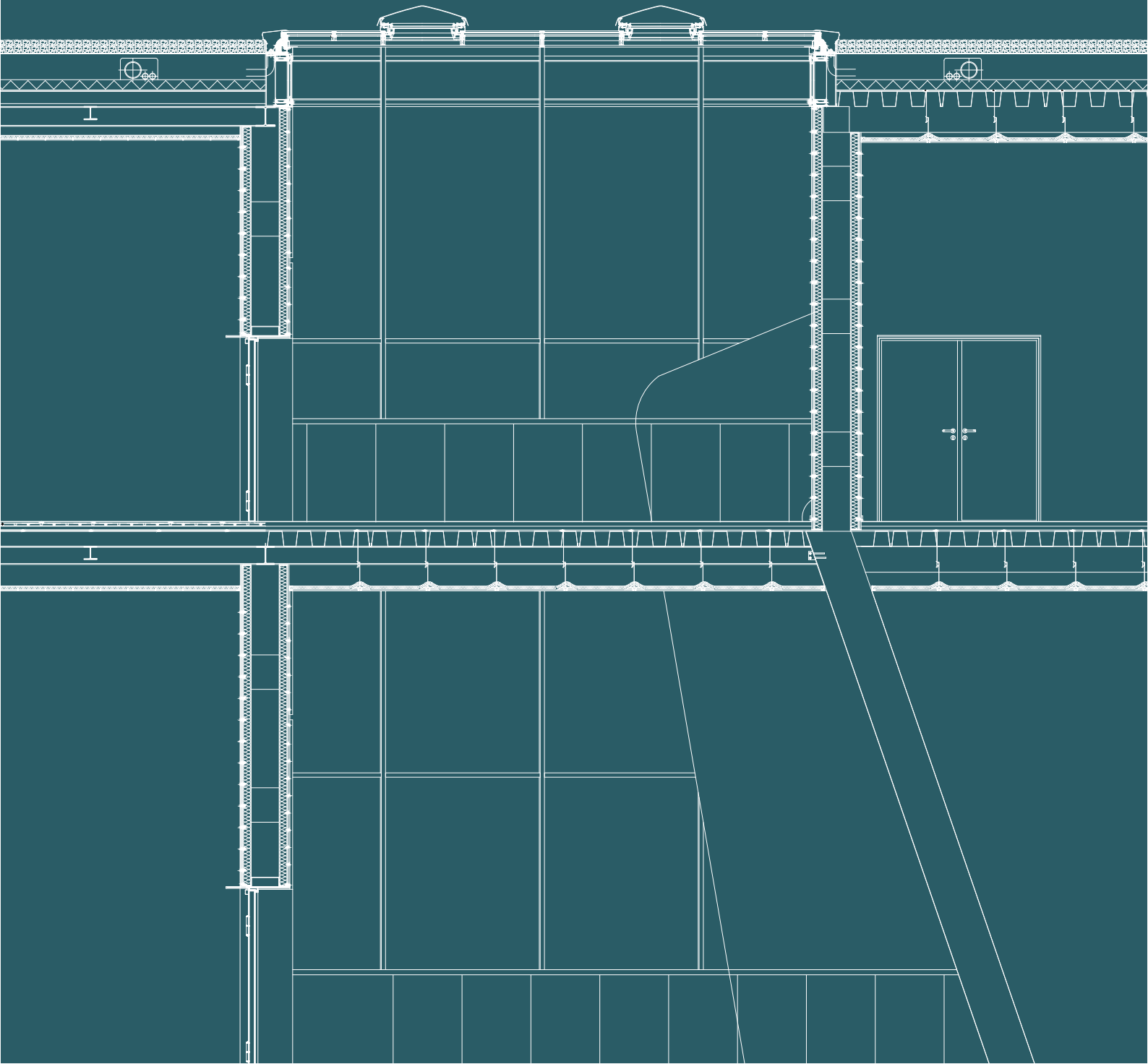
Inoltre secondo il paragrafo 7.4.6.2.2 il passo delle staffe deve essere non superiore alla più piccola delle quantità seguenti:

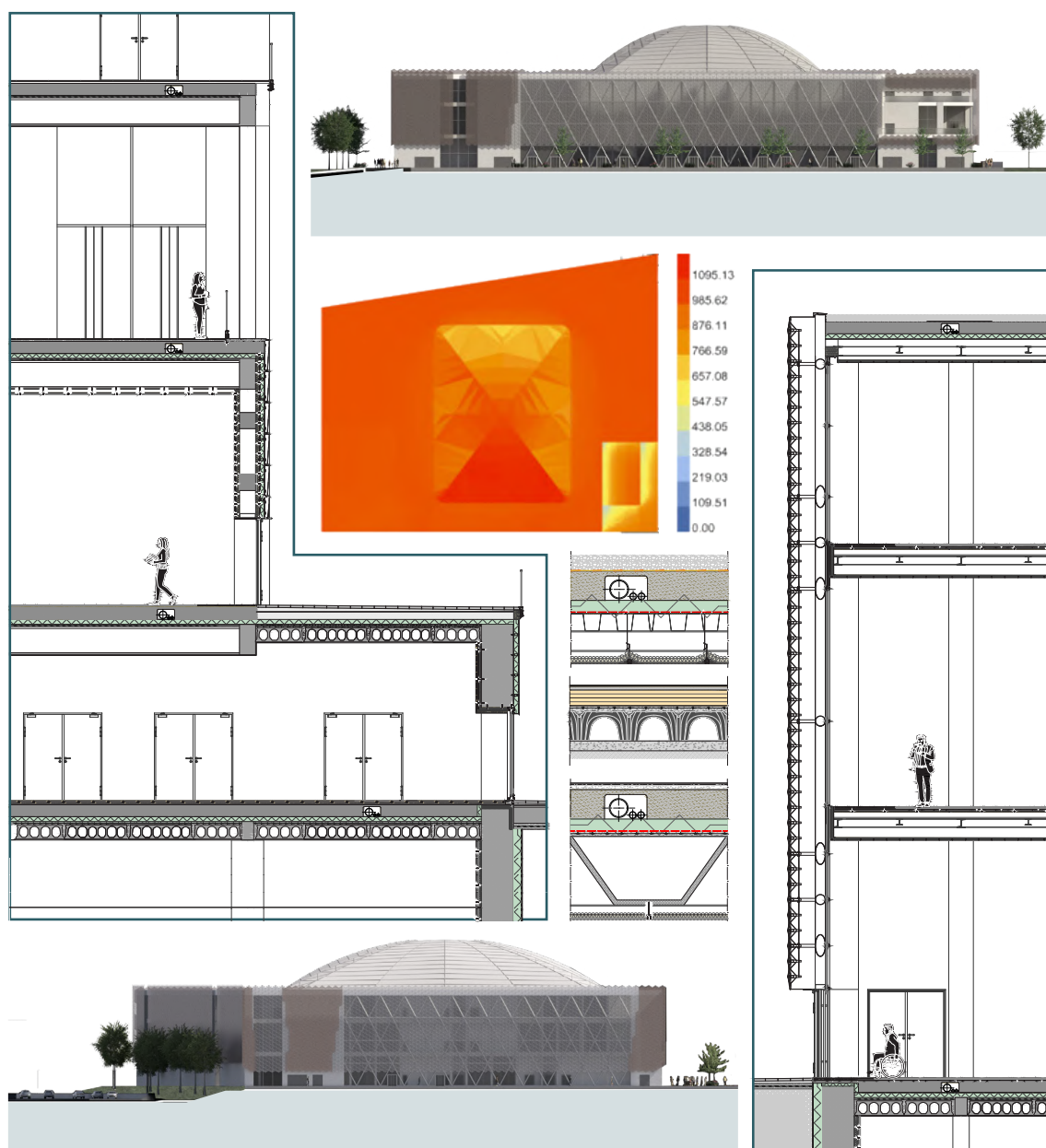
- $\frac{1}{2}$ del lato minore della sezione trasversale per CD"B", ovvero 200mm;
- 17,5 cm, per CD"B";
- 8 volte il diametro delle barre longitudinali che collegano per CD"B", ovvero 144mm.

Di conseguenza, tenuto conto dei vari vincoli precedentemente descritti, avendo determinato che l'interasse massimo è di 144 mm, è stato scelto di utilizzare staffe $\phi 16$ a un passo di 144mm.



TECNOLOGICO





Premessa

In seguito alla definizione strutturale, viene affrontato il tema relativo alle scelte materiali dei pacchetti di chiusure e partizioni: vengono prima definiti i vari materiali utilizzati e le loro caratteristiche nell'abaco, per poi sviluppare le sezioni costruttive dei punti più salienti dell'edificio, suddiviso per blocchi tipologici.

Le soluzioni vengono definite sulla base della posizione dei vari piani (fuori terra, interrati o nucleo centrale) cercando di utilizzare il più possibile tecnologie a secco. La scelta dei materiali, insieme con l'ausilio di un sistema fotovoltaico in copertura, che di tecnologie integrate in facciata garantiscono un comportamento performante dell'edificio.

01

SOLUZIONI TECNOLOGICHE

1.1. LOGICA COSTRUTTIVA E SCELTA DEI MATERIALI

Le soluzioni tecnologiche dell'edificio lavorano in sinergia rispettivamente con il core centrale in pilastri, travi e setti in calcestruzzo e la struttura a telaio in acciaio dei blocchi terziari che lo circondano. Infatti, queste si suddividono principalmente in:

- tecnologie ad umido per quanto riguarda gli interrati, il nucleo dell'arena e i nuclei scale e ascensori, con strato portante realizzato in calcestruzzo;
- tecnologie a secco nei blocchi terziari più esterni, costituiti da strato portante in acciaio.

1.1.1. CHIUSURE ESTERNE

CHIUSURE VERTICALI

Riferimento tavole 47-54

L'utilizzo di una tecnologia a secco per le chiusure verticali esterne presenta: una doppia orditura in acciaio zincato che ospita all'interno isolanti morbidi interni divisi da un'intercapedine, in modo da permettere il passaggio di impianti a parete; un cappotto esterno continuo in XPS che garantisce la continuità in corrispondenza di intersezioni con elementi orizzontali.



Figura V.1.1. Colorazione texture in rame

Fonte immagine: Indaten® ArcelorMittal

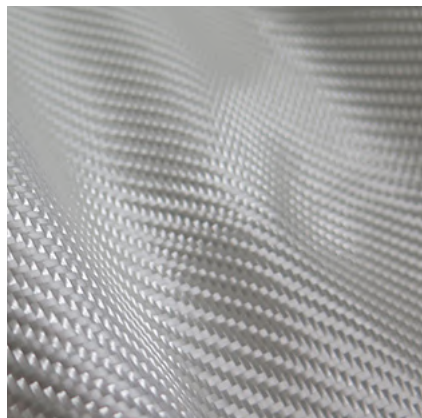


Figura V.1.2. Texture pft in fibra di vetro

Fonte immagine: Schüco Facid 65

Tutte le strutture controterra e quelle dei nuclei centrali e di controvento sono realizzate con tecnologie ad umido: pilastri o setti in calcestruzzo, il cui rivestimento interno varia a seconda dell'ambiente; anche in questo caso è presente come isolante esterno un cappotto in XPS.

Le tipologie di rivestimento sono principalmente di tre tipologie:

- rivestimento in fibrocemento ecologico, per il lato dell'edificio che si trova ad est, affacciato sulla piazza ribassata;
- rivestimento in rame microforato per tutte le porzioni opache dell'edificio, essendo un materiale leggero, protettivo dal rumore e dagli agenti atmosferici esterni e che ben si presta ad essere realizzato off-site e poi applicato in facciata;
- rivestimento in PTFE in fibra di vetro, che si trova davanti alle grandi facciate trasparenti dell'edificio, siano esse in vetro basso emissivo o con materiali adattivi (cui si fa riferimento nel Capitolo VI). Questi sono fissati per mezzo di sottostruttura metallica ai pilastri CSH, permettendo di avere uno spazio di intercapedine per la manutenzione.

I materiali di rivestimento esterno esaltano il motivo della sottostruttura in alluminio a maglia triangolare, generando un pattern ricorrente su tutti e quattro i fronti dell'edificio. Le stesse facciate trasparenti, ricreano il pattern tramite i pilastri CSH in acciaio, a cui internamente sono fissati i pannelli vetrati di facciata continua, con traversi e montanti in alluminio.

Infine, per tutte le pareti verticali fuori terra realizzate in acciaio si è scelto di applicare un sistema di protezione al fuoco a secco, tramite l'utilizzo di lastre in cartongesso Fireboard resistenti al fuoco, che vanno a racchiudere il pilastro.

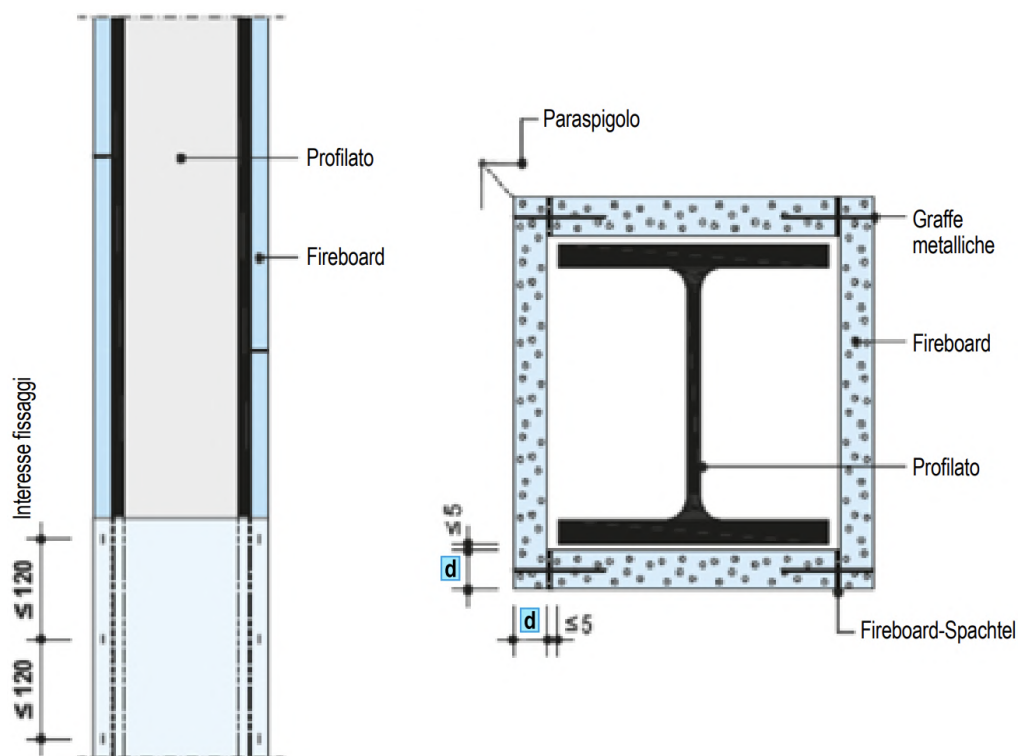


Figura V.1.3. Sistema di protezione al fuoco passiva per sistemi in acciaio
Fonte immagine: Knauf manuale antincendio

CHIUSURE ORIZZONTALI

Riferimento tavole 73-80

Le pavimentazioni esterne prevedono l'utilizzo di masselli autobloccanti in calcestruzzo, in modo da rendere drenante la grande superficie calpestabile; questa permette di creare dei camminamenti pieni e delle fasce a verde predisposte ad aiuole o alberature lungo tutta la piazza antistante l'ingresso dell'arena a livello stradale. L'autobloccante assume diversi colori nel lato est, specificatamente nella piazza ribassata che accoglie i campi da gioco. Questo tipo di finitura si sviluppa su una platea in calcestruzzo armato oppure su alveolari in c.a.p., in modo da garantire resistenza ai carichi e agli agenti esterni.

Per quanto riguarda i terrazzamenti ai piani superiori vengono impiegate piastrelle in ceramica di colori tenui, con supporto strutturale realizzato con solaio in c.a.p.; stessa logica viene ripresa nel piano a ridosso della piazza ribassata, che ospita la palestra cittadina. Questa ha necessità di avere grandi luci libere da pilastri, per consentire le attività al suo interno.

Tutte le strutture controterra sono realizzate con tecnologie ad umido: magrone e platea di fondazione in calcestruzzo, con strato isolante in XPS, il quale ha un miglior comportamento all'umidità del terreno.

La copertura dei blocchi più esterni è realizzata con tecnologia a secco e lo strato più esterno è un drenante in ghiaia; questo favorisce il comportamento del "tetto freddo", aspetto fondamentale per contrastare il fenomeno delle isole di calore. Essendo la maggior parte di superficie di copertura caratterizzata da questa logica costruttiva, vengono posizionati in alcune zone pannelli fotovoltaici per convertire in elettricità l'energia solare.

Infine, la grande cupola che racchiude l'arena sportiva è realizzata con un sistema tecnologico differente: viene ricoperta di cuscini gonfiabili in ETFE, fissati da sottotrutture alle grandi travature reticolari. In questo modo garantiscono un ingresso parziale della radiazione solare in un ambiente di grande superficie non riscaldato.

1.1.2. PARTIZIONI INTERNE

PARTIZIONI VERTICALI

Riferimento tavole 55-72

La finitura interna prevede la stuccatura delle lastre in cartongesso nelle zone comuni, ad eccezione del grande spazio distributivo fra l'arena e i blocchi esterni, interamente ricoperto da pannellature in legno, le quali risaltano a contatto con la luce zenitale proveniente dalla copertura vetrata.

All'interno dell'arena sportiva è stata utilizzato un sistema di pannelli sagomati fonoassorbenti, in modo da attenuare il riverbero del grande spazio; inoltre, questo permette di caratterizzare le pareti interne con grafiche che richiamino l'attenzione delle persone e lo spirito dei Giochi Olimpici.

Viene altrimenti utilizzata l'intonacatura o resine per garantire un aspetto uniforme alla vista degli ambienti. Nello spazio dedicato agli uffici questo viene arricchito da pannelli puntuali fonoassorbenti, che creano motivi colorati sulle pareti.

Negli ambienti interni si è scelto di utilizzare: pannelli in lana di roccia legata per gli spazi compartimentati e con richiesta prestazione REI; pannelli in fibra di cellulosa per gli ambienti comuni. Le partizioni orizzontali e verticali presentano numerose varianti per la grande varietà di spazi all'interno dell'edificio.

PARTIZIONI ORIZZONTALI

Riferimento tavole 81-93

Così come le chiusure orizzontali, ma con maggiore libertà di utilizzo, le partizioni orizzontali sono realizzate principalmente a secco, con trave in acciaio irrigidita da componenti in lamiera grecata e supporto in pannelli osb. Quando non viene usata una tecnologia a secco, i supporti strutturali impiegati sono travi in c.a., alveolari o solai in c.a.p.

Il solaio in elementi in c.a.p. viene utilizzato ad esempio nel piano a ridosso della piazza ribassata, che ospita la palestra cittadina. Questa ha necessità di avere grandi luci libere da pilastri, per consentire le attività al suo interno; le finiture interne sono realizzate con legno e tavolato, per le sue ottime qualità di superficie e aderenza per le attività sportive, oltre che per l'isolamento acustico.

Il blocco interessato dall'impiego di solai in c.a.p. ripete la logica di libertà in pianta sui vari piani, permettendo alla biblioteca al piano primo e ai negozi al piano terra di avere maggiore spazio all'interno.

La finitura a pavimento maggiormente utilizzata negli spazi è LVT (Luxury Vinyl Tile) per le sue proprietà di facile manutenibilità, pulibilità e durabilità, che si alterna in bagni e cucine con piastrelle in gres per aumentare maggiormente la resistenza ad acqua e agenti chimici.

Tutte le soluzioni tecnologiche sono state dotate di uno strato di integrazione impiantistica, a soffitto o pavimento, in modo da garantire l'integrabilità degli impianti: unicamente nel solaio in c.a.p. l'intradosso della struttura viene intonacato e lasciato a vista, con i rispettivi impianti a soffitto.

1.1.3. SVILUPPO TECNOLOGICO

Riferimento tavole 94-96

L'intersezione fra elementi orizzontali e verticali è ben rappresentata tramite sezioni costruttive che raffigurano spazi tipologici del grande spazio polifunzionale:

- uffici a ovest, i quali si interfacciano con la tecnologia adattiva e grandi altezze, che vengono occupate da soppalchi in modo da sfruttare tutta la superficie per le postazioni lavoro;
- il grande spazio di circolazione che risulta un canyon a tutt'altezza, vetrato in sommità e con possibilità di evacuazione fumi tramite smoke out. Questo giunto strutturale separa il frame in acciaio dei blocchi terziari dal core in calcestruzzo che forma l'arena sportiva;
- gli spazi terrazzati a est che si articolano su solai in c.a.p. e permettono la vista sui campi da gioco presenti nella piazza ribassata.

02

SISTEMA FOTOVOLTAICO

2.1. PROGETTO DELL'IMPIANTO

Al fine di garantire una miglior performance tecnologico-energetica dell'edificio, verrà dimensionato l'impianto fotovoltaico che sfrutterà l'ampia superficie disponibile in copertura per convertire l'energia elettromagnetica contenuta nella radiazione solare in energia elettrica direttamente utilizzabile dall'edificio stesso. Questo impianto, insieme con quello integrato nella tecnologia di facciata adattiva trattata nel capitolo VI, costituiscono una fonte di energia rinnovabile utile per l'alimentazione del fabbisogno energetico dell'edificio.

2.1.1. VALUTAZIONE DELLA RADIAZIONE SOLARE INCIDENTE

Utilizzando il modello Revit ed importandolo in Rhino, è stato possibile stabilire la quantità annuale di radiazione solare incidente sulla copertura tramite il plug-in di Grasshopper Ladybug. Il risultato massimo ottenuto è pari a:

$$I_{\text{tot}} = 876,11 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$$

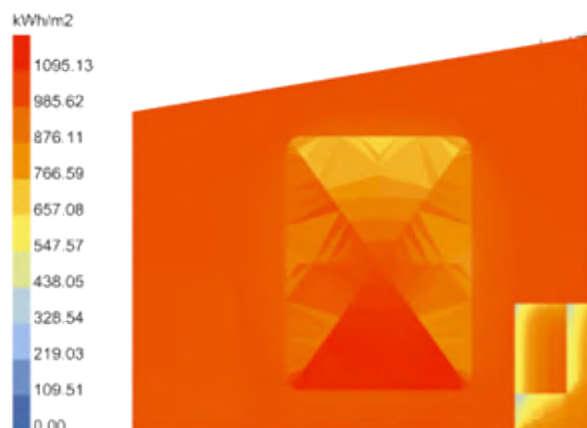


Figura V.2.1. Valori massimi della radiazione solare incidente

2.1.2. SCELTA DELLA TIPOLOGIA DI PANNELLO

La scelta è ricaduta su un pannello fotovoltaico progettato per massimizzare la produzione di energia grazie a una densità di potenza eccellente, a prestazioni più elevate ad alte temperature e a una maggiore conversione dell'energia in condizioni di scarso irraggiamento come la mattina, la sera e quando il cielo è coperto. In particolare, il modello scelto è il SunPower MAXEON 6 AC, che grazie al microinverter integrato può funzionare in modo indipendente per ridurre l'impatto dell'ombra e migliorare le prestazioni del sistema. Inoltre, la vita utile prevista è di 40 anni. Si riportano di seguito le caratteristiche tecniche.

Tipo	SUNPOWER MAXEON 6 AC 445W
Tipologia cella	66 celle monocristalline Maxeon Gen 6
Efficienza modulo η_{fv}	23%
Rendimento minimo garantito nel 1° anno	98%
Degrado annuo massimo	0,25%
Peso	21,8 kg
Potenza nominale P_{nom}	445w
Carico massimo vento	3600 Pa, 367 kg/m ² retro
Carico massimo neve	5400 Pa, 551 kg/m ² fronte
Resistenza all'impatto	grandine del diametro di 25 mm a una velocità di 23 m/s

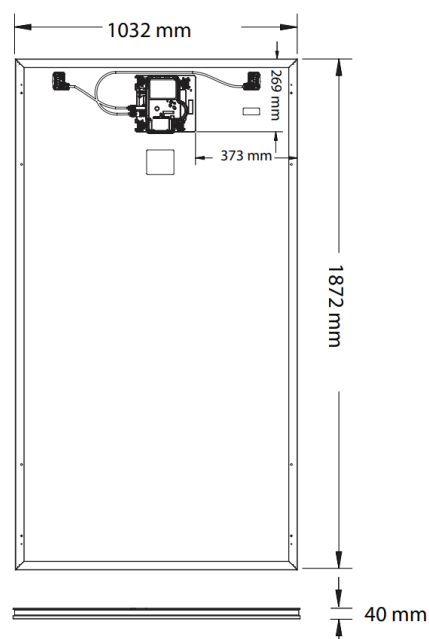


Figura V.2.2 Caratteristiche tecniche del pannello fotovoltaico

2.1.3. POSIZIONAMENTO E NUMERO DEI PANNELLI

I pannelli sono stati posizionati sui blocchi Ovest ed Est, in maniera tale da non compromettere eventuali lavori manutentivi in facciata e riservando spazio per gli impianti in copertura. Si riporta quindi la pianta della copertura ed il numero di pannelli:

- Edificio Ovest: 330
- Edificio Est: 176

Totale = 506 pannelli installati
Area captante pannello = 1,93 m²

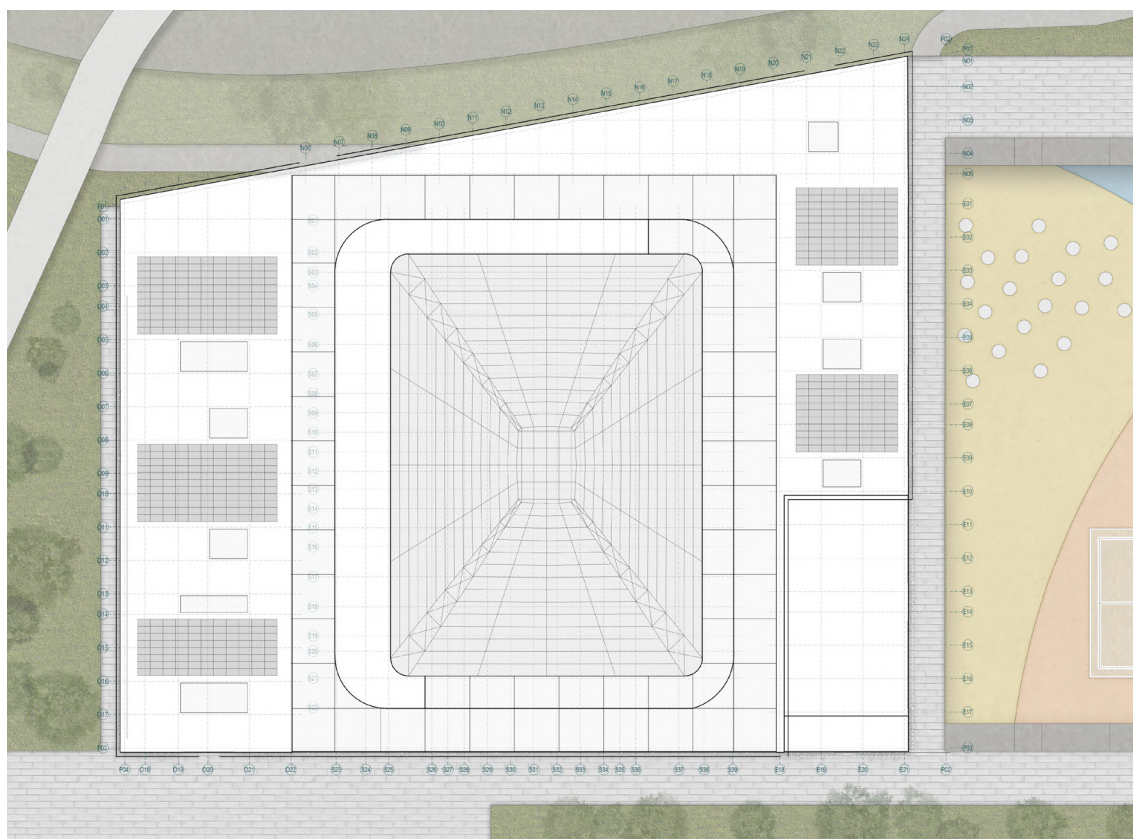


Figura V.2.3. Pianta della copertura

2.2. CALCOLO DELL'ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA

La quantità di energia elettrica generata dal sistema fotovoltaico è data dalla seguente equazione:

$$E_{fv} = N_{mod} \cdot I_{tot} \cdot f_c \cdot A_{mod} \cdot \eta_{fv} \cdot \eta_{BOS}$$

Con:

- N_{mod} : numero moduli presenti in copertura [-]
- I_{tot} : radiazione solare incidente totale [kWh/anno]
- f_c : fattore correttivo per l'orientamento e l'inclinazione della superficie [-]
- A_{mod} : area captante dei singoli pannelli [m^2]
- η_{fv} : efficienza di conversione nominale dei moduli CIGS [%]
- η_{BOS} : efficienza di conversione dei BOS [%]

Da questa equazione, l'energia elettrica che può essere prodotta dal sistema fotovoltaico risulta essere:

N_{mod} [-]	I_{tot} [kWh/ m^2 anno]	f_c [-]	A_{mod} [m^2]	η_{fv} [%]	η_{BOS} [%]	E_{fv} [kWh/anno]
506	876,11	1	1,93	23	85	167433

Figura V.2.4. Calcolo energia elettrica prodotta dal sistema fotovoltaico

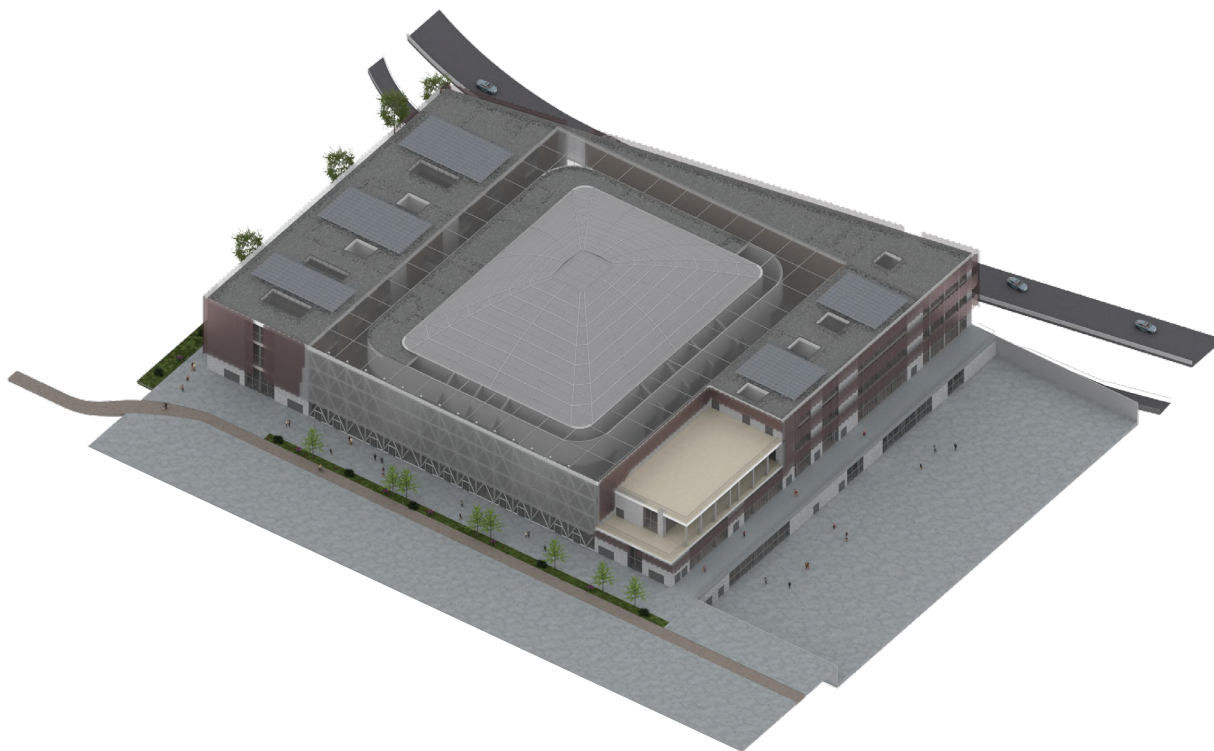
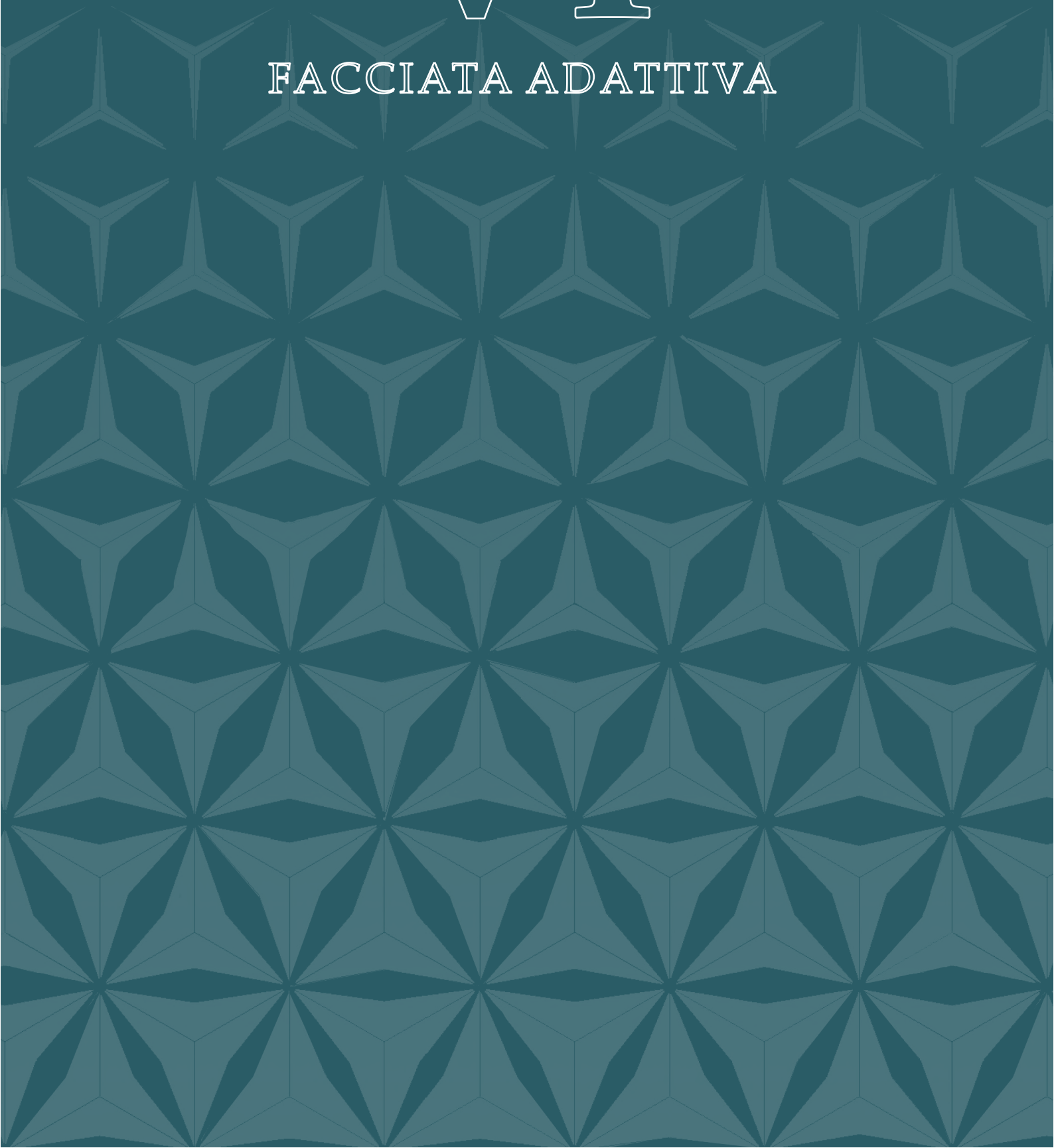
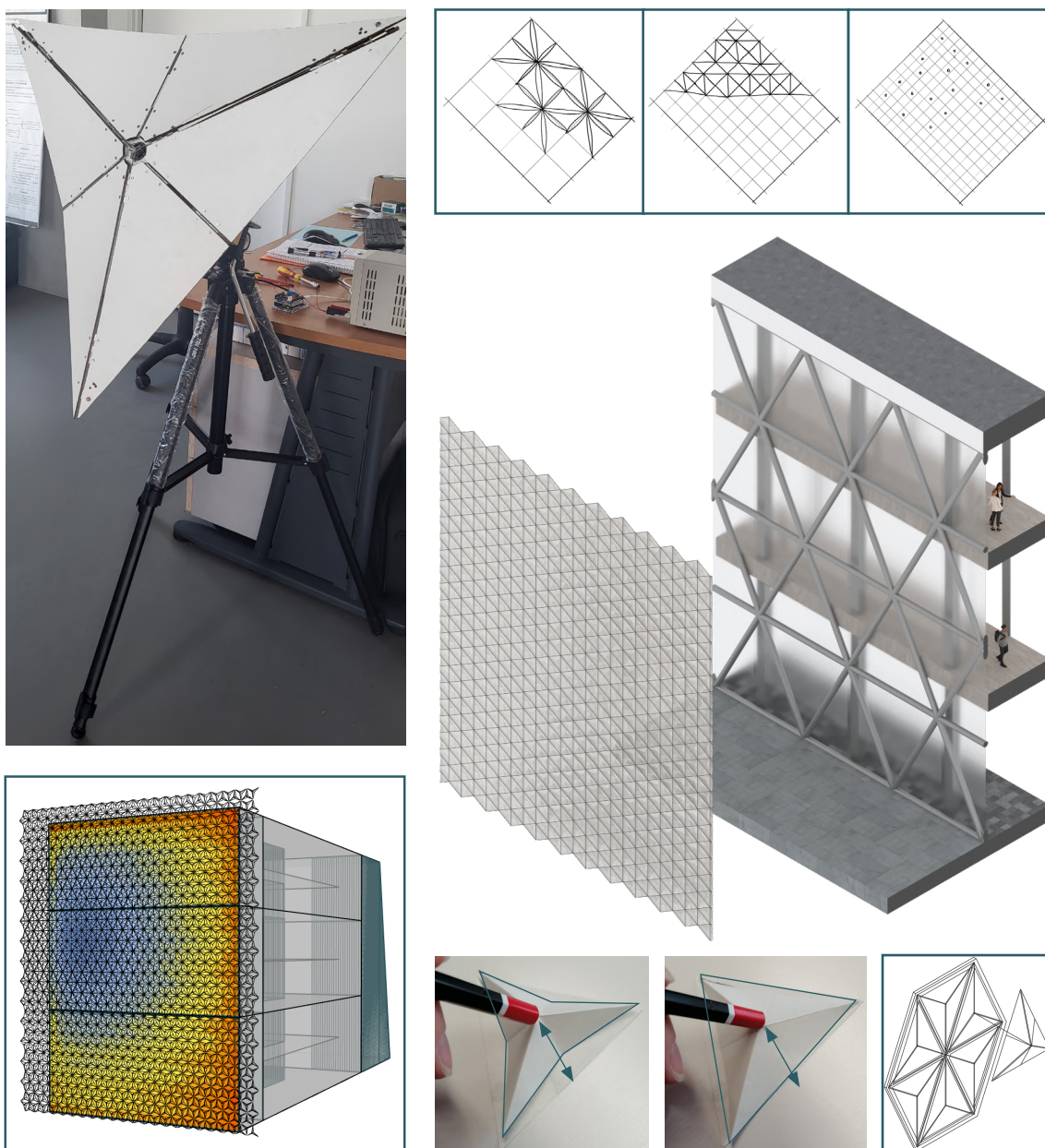


Figura V.2.5. Render dell'edificio

VI

FACCIATA ADATTIVA





Premessa

Le facciate adattive (AF) sono involucri edilizi in grado di adattarsi alle mutevoli condizioni al contorno sotto forma di fluttuazioni meteorologiche a breve termine, cicli diurni o modelli stagionali.

Dallo stato dell'arte attuale vengono esplorate ingegnerizzate differenti soluzioni, la cui scelta viene definita sulla base dell'applicazione all'edificio, in modo da favorire l'ideazione del design, determinare le prestazioni e stabilire le modalità di attivazione e controllo, col fine ultimo di implementare la fattibilità e costruibilità del sistema tramite la parametrizzazione e prototipazione dell'elemento di facciata.

01

INVOLUCRI ADATTIVI

1.1. NASCITA DEI SISTEMI ADATTIVI DI FACCIATA

1.1.1. EVOLUZIONE DEL CONCETTO

Dopo il XIX secolo comincia a nascere il concetto di pelle dell'edificio, quando con l'avvento della rivoluzione industriale vengono portati in auge nuovi materiali e lavorazioni, che hanno progressivamente portato la tecnologia tradizionale del muro massivo portante ad essere abbandonata. Esempi del cambiamento sono state le strutture leggere in ferro e vetro come il Crystal Palace, i grattacieli americani e i curtain walls, passando da Ville Savoye di Le Corbusier, fino agli edifici contemporanei di Gehry, Herzog e de Meuron.

L'idea di "cortina", di una pelle posta davanti all'edificio apre nuove possibilità di utilizzo e funzionalità dell'involucro edilizio: ventilazione e illuminazione naturale, protezione dall'abbagliamento e dal rumore, efficienza acustica, protezione antincendio, interazione uomo-edificio e comfort interno degli occupanti.

Così, analogamente alla pelle umana, l'idea di pelle dell'edificio si riferisce a un involucro, interno o esterno, che perde in parte o del tutto il suo scopo principalmente strutturale per favorire un comportamento funzionale interattivo/organico.



Figura VI.1.1. Bold Project
Fonte immagine: Studio Dwell

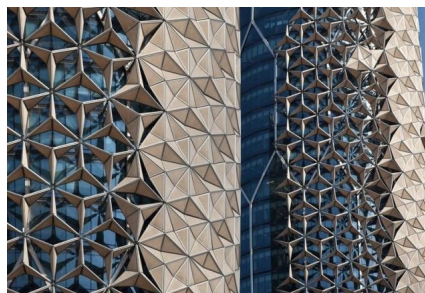


Figura VI.1.2. Al Bahar Towers
Fonte immagine: inhabitat.com

Questa idea è nata come applicazione del concetto di sostenibilità a basso consumo energetico, con semplici persiane pieghevoli e scorrevoli o con lamelle mobili, ed è proseguita con una moltitudine di dispositivi per l'ombreggiamento e la protezione dall'abbagliamento, la deviazione della luce, la gestione del calore e dell'energia.

1.1.2. MERCATO ATTUALE E STANDARD NORMATIVI

Le facciate adattive (AF) sono involucri edilizi in grado di adattarsi alle mutevoli condizioni al contorno sotto forma di fluttuazioni meteorologiche a breve termine, cicli diurni o modelli stagionali. In tal senso, è nata una community, la COST Action TU1403 "adaptive facades network", che mira a mettere insieme le conoscenze, le tecnologie e la ricerca di tutti i paesi europei e non solo. Come risultato dell'azione COST Action TU1403 "Adaptive facades network" - Task Group "Structural", viene illustrata una nuova proposta di classificazione e la definizione di alcune possibili metriche per la valutazione delle loro prestazioni strutturali.

La prima è la modalità di cambiamento del sistema: le modifiche alla geometria possono avvenire sotto forma di movimento del corpo rigido o di deformazione non rigida dei componenti della facciata.

Segue l'attivazione del sistema: i sistemi di attivazione meccanica possono essere convenzionalmente classificati come attivi, semi-attivi e ibridi. I sistemi di facciata con componenti attivi, funzionano tramite l'azionamento di parti mobili in un sistema meccanico, mentre quelli che si basano sull'uso di materiali reattivi, possono cambiare le loro proprietà fisiche in risposta alle condizioni climatiche dinamiche.

Infine, vi è l'evento scatenante l'attivazione: gli scenari sono legati a variazioni del carico gravitazionale, indotte dal vento, di temperatura, dell'umidità relativa o della luce solare. Inoltre, vengono considerati anche scenari eccezionali, il cui accadimento è difficile, per risultare a favore di sicurezza.

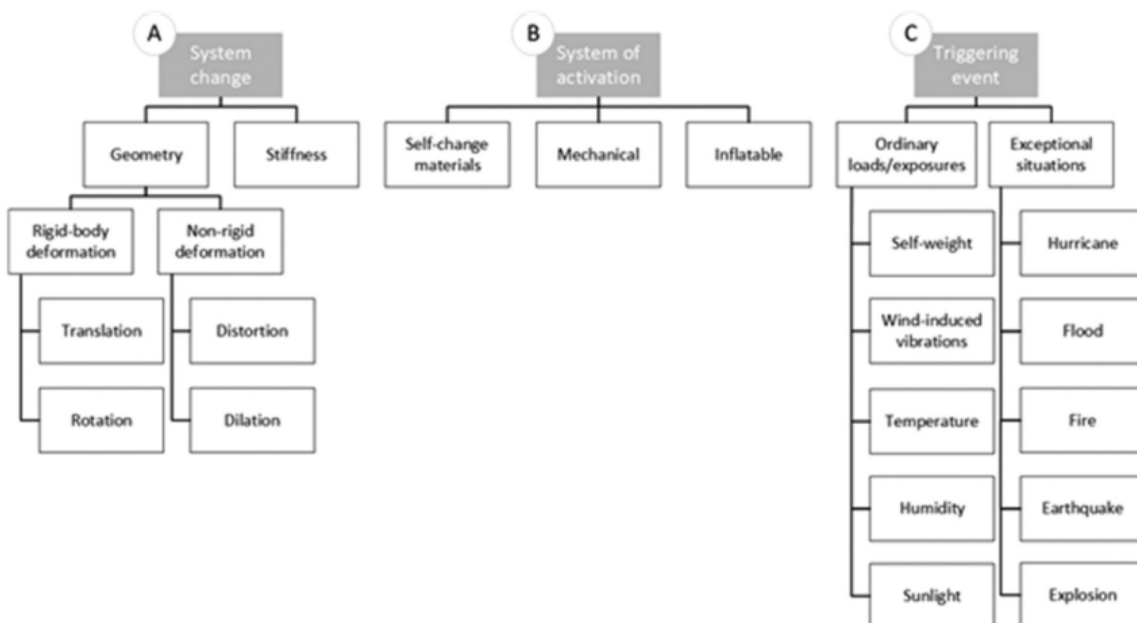


Figura VI.1.3. Sistema di classificazione delle facciate adattive
 Fonte immagine: Structural TG Proposal, Cost Action TU1403

Inoltre, per ottenere la marcatura CE e sulla base delle normative vigenti, una determinata facciata continua deve convenzionalmente soddisfare la procedura di prova EN 13830. Le facciate con finestre, porte o dispositivi di ombreggiamento possono essere considerate adattive. Tuttavia, nel caso di dispositivi di ombreggiamento esterni (come tende a lamelle o tende in tessuto), essi non sono parte esplicita delle prove sulle facciate continue e sono oggetto della norma EN 1932 e di altre.

Questi sistemi flessibili effettuano transizioni nel tempo, per far fronte a nuove circostanze e all'incertezza, e quindi implicano una facilità di modifica e l'assenza di componenti irreversibili o rigidi. In relazione all'involucro dell'edificio, le modalità di flessibilità per supportare le prestazioni durante il ciclo di vita di un edificio possono essere illustrate tramite tre diverse proprietà:

- adattabilità, nel senso che i sistemi possono quindi agire come mediatori climatici, attingendo ciò che è disponibile nell'ambiente climatico per soddisfare le esigenze di comfort;
- multiabilità, la quale si differenzia dall'adattabilità nel senso in cui gli obiettivi multipli possono essere raggiunti consecutivamente, non simultaneamente;
- evolvibilità, potendo gli involucri edilizi evolvere nel tempo; questi sono un mezzo per estrarre valore dall'incertezza di questi eventi imprevisi.

Successivamente si è deciso di categorizzare gli involucri adattivi secondo tre elementi chiave: requisiti, tecnologia e movimento.

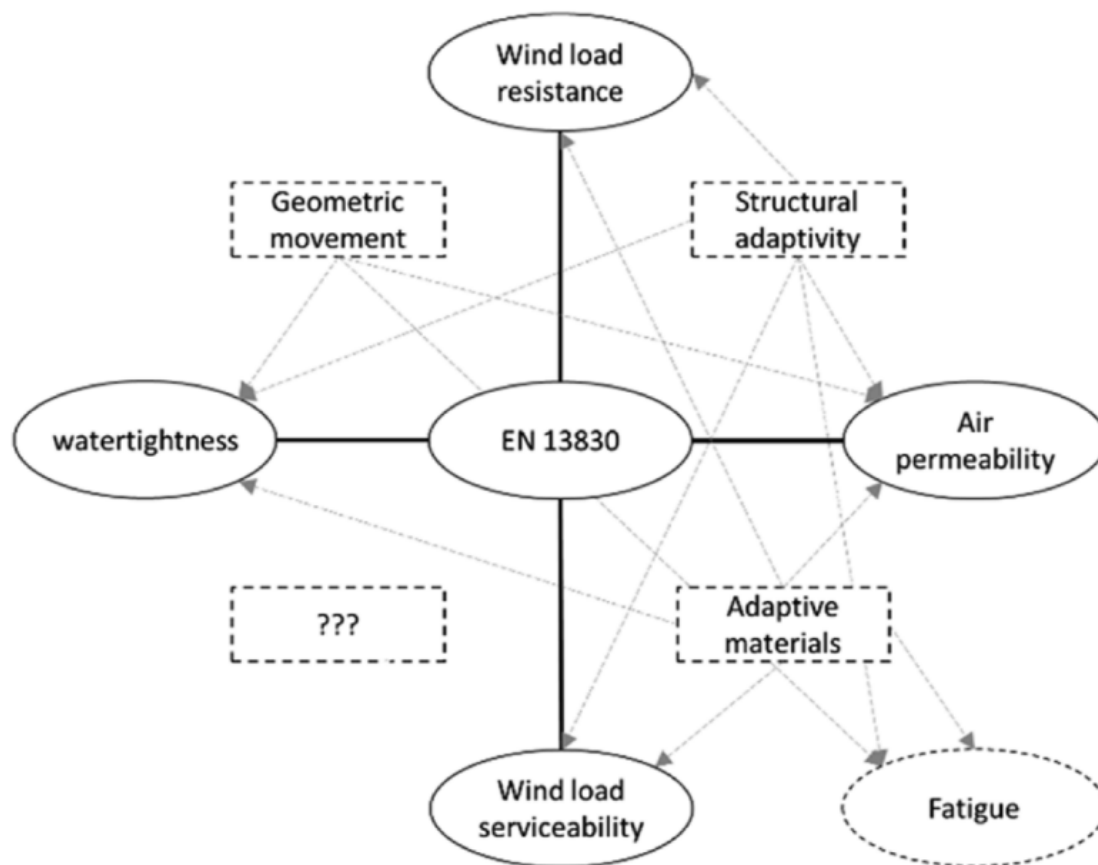


Figura VI.1.4. Interrelazioni tramite gli aspetti connotanti delle facciate adattive
Fonte immagine: L. Aelenei, Adaptive facade network

1.2. TIPOLOGIE DI FACCIATA E CLASSIFICAZIONE

“Una facciata adattiva è un involucro edilizio che si adatta al clima ha la capacità di modificare ripetutamente e in modo reversibile alcune delle sue funzioni, caratteristiche o comportamenti nel tempo in risposta a requisiti prestazionali mutevoli e a condizioni al contorno variabili, e lo fa con l'obiettivo di migliorare le prestazioni complessive dell'edificio”.

R.C.G.M. Loonen, Climate adaptive building shells: state-of-art and future challenges

1.2.1. REQUISITI E FABBISOGNI

Un sistema adattivo è determinato sia dalle condizioni esterne, che dagli occupanti interni: in tal senso è importante garantire questa bidirezionalità, ove possibile, in modo da stabilire requisiti e fabbisogni che guidino la progettazione dell'involucro, come un layer che metta in comunicazione esterno ed interno dell'edificio. In modo da avere un quadro completo, vengono raggruppate diverse categorie per la classificazione secondo performance dell'involucro.

Le prestazioni energetiche e ambientali definiscono un primo target di categorizzazione delle varie tipologie di facciata, le quali includono embodied energy and carbon per la facciata adattiva, la quale influenza direttamente l'ambiente interno dell'edificio e hanno un impatto sui carichi di raffreddamento e riscaldamento.

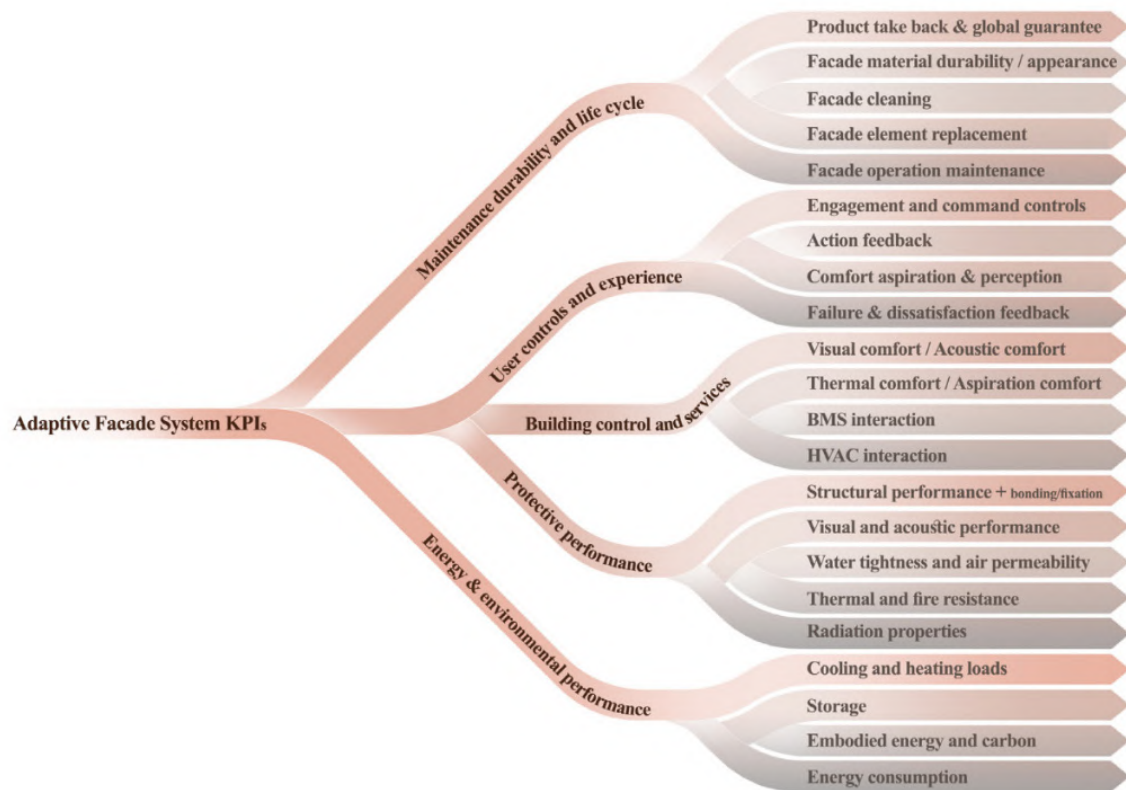


Figura VI.1.5. Indicatori chiave di performance delle facciate adattive
 Fonte immagine: S. Attia, Energy & Buildings

Le prestazioni di protezione, vengono dichiarate dalla fisica tecnica e dalla scienza dei materiali costitutivi dei sistemi adattivi e tengono conto della resistenza al fuoco e delle prestazioni strutturali, oltre che di quelle acustiche e visive. Ciò include la permeabilità all'acqua e all'aria e le proprietà di irraggiamento per l'illuminazione naturale e il controllo solare.

I servizi e il controllo dell'edificio includono quattro tipi di comfort, in relazione diretta con i sistemi di gestione degli edifici e i controlli delle facciate. La gestione e l'interazione attraverso tecnologie automatizzate e intelligenti si basa su un insieme di variabili che influenzano il rapporto tra involucro e ambiente interno. I servizi dell'edificio, tra cui la ventilazione meccanica e i sistemi attivi e il loro controllo diretto per ottenere il comfort interno, sono raggruppati in questa categoria.

Nella parte di esperienza e controllo è raggruppata la percezione soggettiva dell'ambiente interno da parte degli utenti in relazione alla loro capacità di agire e interagire con la facciata per regolare l'ambiente in cui vivono o lavorano. In tal senso il sistema adattivo si trova a far fronte alle richieste da parte degli utenti e genera risposte in modo da cambiare il suo comportamento.

Il gruppo della manutenzione e ciclo di vita del sistema riguarda gli aspetti relativi alla vita della facciata durante il funzionamento, tra cui anche la sostituzione, la pulizia e la durabilità. Questa categoria comprende anche parametri legati ai costi e alla fine del ciclo di vita o alla garanzia e tutto ciò che è legato alla durabilità ed eventuale fine vita del sistema.

1.2.2. TECNOLOGIE ADATTIVE

Combinando caratteristiche passive e attive, una facciata adattiva può trasmettere, catturare, convertire, distribuire e immagazzinare l'energia solare per la produzione di energia elettrica, l'illuminazione diurna, il riscaldamento degli ambienti, il riscaldamento dell'acqua e la ventilazione. I sistemi di facciata passivi si basano su flussi d'aria guidati dal galleggiamento, accumuli di calore sensibile non mediati nei materiali delle pareti e dei pavimenti, isolamento continuo in tutto l'involucro dell'edificio, finestre e porte a bassa perdita di calore e dispositivi di ombreggiamento fissi per mitigare il surriscaldamento e l'abbagliamento.

I progressi nelle tecnologie dei materiali e nei sistemi di controllo consentono alle caratteristiche delle facciate passive di diventare elementi integranti dei sistemi di facciata adattivi. Di seguito sono riportate le principali tecnologie sul mercato applicate preferibilmente alla tipologia edilizia non residenziale, in special modo a quella pubblica e terziario.

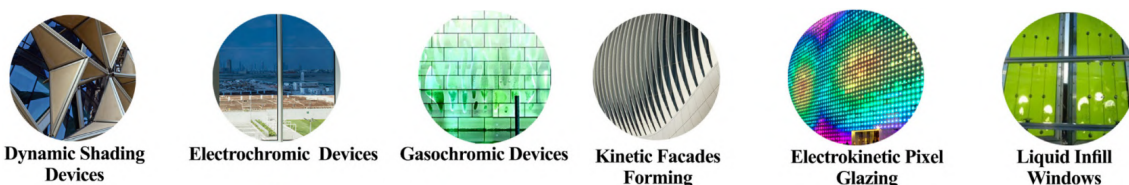


Figura VI.1.6. Nuove tecnologie applicabili ai sistemi adattivi
Fonte immagine: S. Attia, *Energy & Buildings*

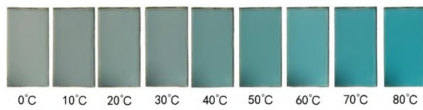


Figura VI.1.7. Variazione di una vetrata termocromica
Fonte immagine: wfmmedia.com

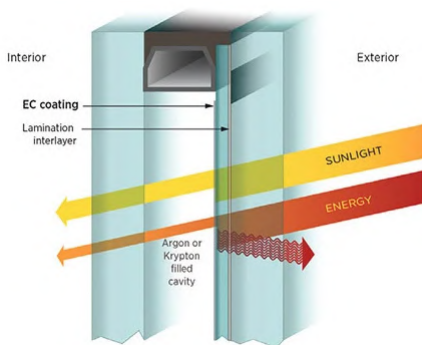


Figura VI.1.8. Funzionamento di un vetro isolante elettrocromico
Fonte immagine: wfmmedia.com

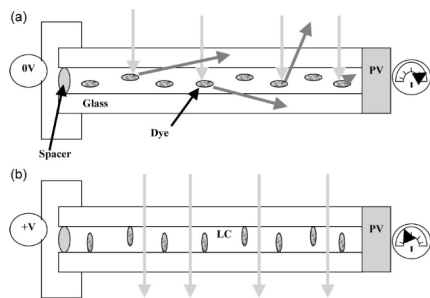


Figura VI.1.9. Principio di funzionamento di una facciata fotovoltaica
Fonte immagine: M.G. Debije, Advanced Functional Materials

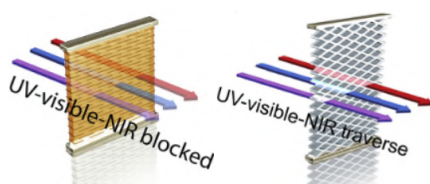


Figura VI.1.10. Funzionamento di un vetro oscurante
Fonte immagine: S. Hoffmann, Solar Energy Materials and Solar Cells

FACCIATA TERMOCROMICA

Il vetro che costituisce questa facciata permette di modulare la trasmissione per mezzo della temperatura: è possibile controllare il guadagno di calore solare e l'abbagliamento, inoltre, non è necessaria alimentazione per il suo funzionamento. Dopo aver assorbito una certa quantità di luce o di calore, la struttura cristallina o molecolare del pigmento cambia reversibilmente in modo tale da assorbire ed emettere luce a una lunghezza d'onda diversa rispetto a temperature inferiori. Tuttavia, risulta un sistema di difficile controllo.

FACCIATA ELETTROCROMICA

La facciata è costituita da una superficie trasparente che permette di modulare la trasmissione per mezzo di un voltaggio elettrico: permette di controllare il guadagno di calore solare e l'abbagliamento. Quando viene applicata una tensione agli elettrodi racchiusi nel coating, questi migrando dall'elettrodo più interno a quello più esterno, rendono il vetro opaco. In questo caso l'alimentazione del sistema è necessaria unicamente per variare il coefficiente di trasmissione del vetro. Come contro questo sistema presenta una bassa trasmissività e può causare ritardi nel passaggio da trasparente ad opaco.

FACCIATA FOTOVOLTAICA CON VARIAZIONE DI TRASMISSIONE

Questa tecnologia di involucro utilizza cristalli liquidi in combinazione con pannelli fotovoltaici (PV) per il controllo dell'illuminazione naturale all'interno dell'edificio. Quando il sistema è opaco, cioè quando l'allineamento dei cristalli liquidi risulta casuale, produce elettricità. Tuttavia, risulta dispendiosa se utilizzata per implementare edifici esistenti e durante l'inverno ha uno scarso guadagno solare.

FACCIATA OSCURANTE

Questa tecnologia di involucro utilizza cristalli liquidi in combinazione con pannelli fotovoltaici (PV) per il controllo dell'illuminazione naturale all'interno dell'edificio. Quando il sistema è opaco, cioè quando l'allineamento dei cristalli liquidi risulta casuale, produce elettricità. Una questione

riguardante questa tecnologia è il fatto che possa sviluppare problemi di durabilità e manutenzione, durante il ciclo di vita.

FACCIATA CON TECNOLOGIA COMBINATA FOTOVOLTAICO-TERMOELETTRICO (PV-TE)

Il sistema fotovoltaico-termoelettrico a moduli ha la capacità di produrre e stoccare elettricità, in modo da poterla utilizzare per l'alimentazione dell'edificio. I pregi del sistema termoelettrico comportano l'assenza di un complesso sistema di distribuzione impiantistica verso il nucleo dell'edificio e la flessibilità di fornire sia il riscaldamento che il raffreddamento su richiesta. Tuttavia, si tratta di una tecnologia ancora piuttosto emergente, perciò esistono solo prototipi.

FACCIATA INTEGRATA CON COLLETTORI SOLARI TERMICI

I pannelli fotovoltaici montati sulla facciata generano elettricità e modulano il guadagno solare. Questo sistema di facciata regola la trasmissione della luce e del calore attraverso l'edificio, generando elettricità in loco. Purtroppo, in inverno, la tecnologia risente di un guadagno solare e termico inferiore.

FACCIATA CON ISOLAMENTO A PARETE OPACA COMMUTABILE

Tramite questa tecnologia, che sfrutta la transizione isolamento-conduzione di un solido, le pareti passano dallo stato di isolamento a quello di conduzione termica, regolando in questo modo il trasferimento di calore tra gli ambienti interni ed esterni. Tuttavia, implica problematiche significative per la manutenzione ed è di difficile installazione su edifici esistenti.

FACCIATA CON ISOLAMENTO A PARETE TRASPARENTE COMMUTABILE

Per mezzo della transizione isolamento-convezione di un liquido, il coefficiente di dispersione termica globale risulta variabile e la luce diurna diretta entra in profondità nell'edificio. Il pannello isolante traslucido all'interno di una cavità chiusa vetrata permette di attivare o disattivare la convezione. È importante precisare come le parti mec-

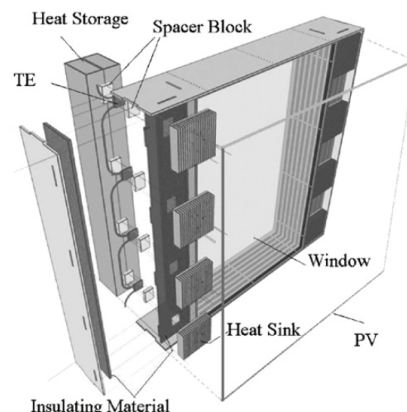


Figura VI.1.11. Facciata con combinazione PV-termoelettrica
Fonte immagine: X. Xu, S.V. Dessel, *Building and Environment*

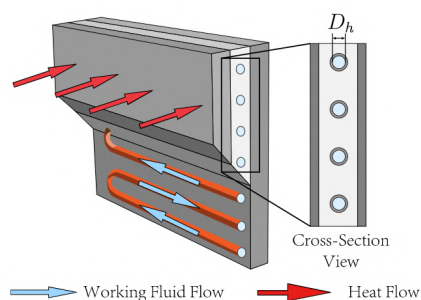


Figura VI.1.12. Facciata con isolamento a parete opaca commutabile
Fonte immagine: H.Cui, M.Overend, *Energy & Buildings*

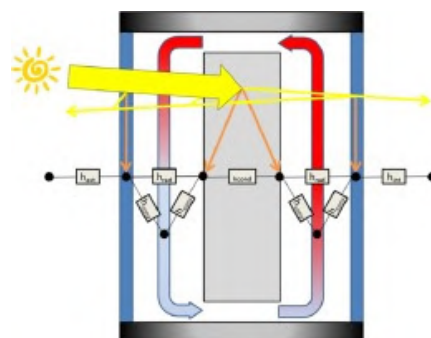


Figura VI.1.13. Facciata con isolamento a parete trasparente commutabile
Fonte immagine: T.Pflug, *Energy & Buildings*

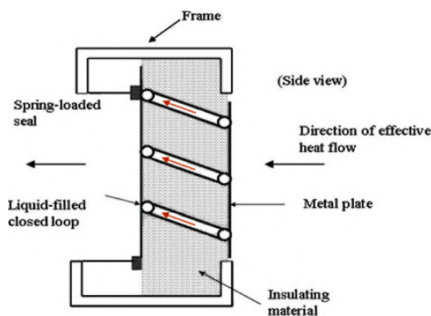


Figura VI.1.14. Funzionamento diodo termico bidirezionale
Fonte immagine: W. Chun, Solar Energy

caniche di questo sistema necessitano particolare attenzione e manutenzione periodica.

FACCIATA INTEGRATA CON DIODO TERMICO BIDIREZIONALE

Questo specifico sistema di facciata consente di variare il trasferimento di calore da una direzione all'altra, a seconda delle esigenze. In tal modo permette il controllo della direzione del flusso di calore, seppur con alcuni limiti: il campo di funzionamento risulta limitato e il tempo di risposta del sistema molto lungo.

FACCIATA INTEGRATA CON SISTEMA DI VENTILAZIONE DECENTRALIZZATA (DV)

I ventilatori decentralizzati integrati in facciata risultano più piccoli e corti, ma dalle minori perdite di carico, rispetto alla ventilazione meccanica centralizzata. Fatta eccezione per gli uffici aperti, la DV è spesso abbinata a risparmi energetici per l'immissione di aria fresca e per il condizionamento, in quanto i dispositivi funzionano solo nei locali occupati con flusso d'aria di alimentazione variabile. Per preconditionare l'aria di alimentazione, il DV può essere combinato con un sistema decentralizzato di riscaldamento, raffreddamento e deumidificazione e/o un sistema decentralizzato di recupero di calore e umidità.



Figura VI.1.15. Facciata con ventilazione decentralizzata
Fonte immagine: TEmotion-Module

FACCIATA INTEGRATA CON SISTEMI TERMOCHIMICI

Le facciate con bioreattori (microalghe) sono costituite da lamelle di vetro con cavità riempite di acqua contenente sostanze nutritive che convertono la luce del giorno e la CO_2 in biomassa algale e O_2 attraverso la fotosintesi; allo stesso tempo, l'acqua viene riscaldata dagli effetti solari termici. In un locale per impianti, il calore viene rimosso dal mezzo di coltura tramite uno scambiatore di calore e la biomassa viene raccolta da un separatore. Gli svantaggi di questa tecnologia includono la contaminazione, la pulizia, gli alti costi di investimento, la conversione e la complessità, nonché la necessità di un locale per gli impianti e di collegamenti idrici al nucleo dell'edificio.



Figura VI.1.16. Aspetto di una facciata con bioreattori
Fonte immagine: architonic.com

1.2.3. OVERVIEW TECNOLOGIE ADATTIVE

	FUNZIONE	INPUT	ELEMENTI	CONTROLLO	PROBLEMI
Facciata termocromica	Controllo del guadagno solare e dell'abbagliamento	Variazione della temperatura	Vetri pigmentati	Decentralizzato	Difficoltà di controllo
Facciata elettrocromica	Controllo del guadagno solare e dell'abbagliamento	Energia solare	Coating trasparente ed elettrodi	Collegato alla rete	Bassa trasmittività e ritardi nel funzionamento
Facciata fotovoltaica con variazione di trasmissione	Controllo dell'illuminazione e produzione di elettricità	Energia solare	Pannelli fotovoltaici e cristalli liquidi	Collegato alla rete	Dispendiosità e scarso guadagno solare in inverno
Facciata oscurante	Controllo dell'illuminazione e produzione di elettricità	Energia solare	Pannelli fotovoltaici e cristalli liquidi	Collegato alla rete	Durabilità e manutenzione
Facciata con tecnologia combinata fotovoltaico-termoelettrico	Produzione e stoccaggio di elettricità	Energia solare	Pannelli fotovoltaici ed elettrodi	Collegato alla rete (semplice)	Esistono solo prototipi
Facciata integrata con collettori solari termici	Generazione di elettricità, modulazione del guadagno solare e regolazione trasmissione luminosa	Energia solare	Pannelli fotovoltaici	Collegato alla rete	Scarso guadagno solare in inverno
Facciata con isolamento a parete opaca commutabile	Regolazione trasmissione del calore	Energia solare	Transizione isolamento-conduzione di un solido	Decentralizzato	Manutenzione
Facciata con isolamento a parete trasparente commutabile	Variabilità del coefficiente di dispersione termica globale e profondità della luce solare diretta	Energia solare	Transizione isolamento-conduzione di un liquido	Decentralizzato	Manutenzione parti meccaniche

	FUNZIONE	INPUT	ELEMENTI	CONTROLLO	PROBLEMI
Facciata integrata con diodo termico bidirezionale	Variazione trasferimento del calore	Energia solare	Materiale isolante e liquido	Decentralizzato	Limitato campo di funzionamento e lungo tempo di risposta
Facciata integrata con sistema di ventilazione decentralizzato	Immissione di aria fresca e condizionamento	Variazione di temperatura e flusso di aria	Sistema di ventilazione	Decentralizzato	Applicabile solo in locali con flusso d'aria di alimentazione variabile
Facciata integrata con sistemi termochimici	Rimozione del calore e raccolta di biomassa algale	Energia solare	Bioreattori immersi in acqua	Decentralizzato	Contaminazione, pulizia, alti costi, necessità locale per impianti e collegamenti idrici

1.2.4. CAMBIAMENTO DI CONFIGURAZIONE

La trasformazione della pelle di un edificio sfrutta le interazioni dell'ambiente nel quale è collocata e questa modificazione va a rispondere principalmente a condizioni dell'ambiente interno ed esterno per migliorare l'efficienza energetica dell'edificio, migliorando il comfort degli utenti.

La ricerca scientifica su queste pelli dinamiche si sta sviluppando verso soluzioni progettuali innovative, sfruttando la possibilità di integrare attuatori meccanici e automatizzati, scienze dei materiali e sistemi informatici. In questo modo, le soluzioni tecnologiche si stanno spostando da elementi statici a elementi adattivi in grado di cambiare rapidamente funzione e configurazione in relazione ai requisiti fisici.

Le strutture adattive, per quanto riguarda la modalità di movimento e il cambiamento di configurazione, vengono classificate secondo tre macrocategorie:

- dispositivi a più unità, ovvero una replica di corpi rigidi disposti a griglia, in cui la facciata comprende numerose unità che possono essere adattate attraverso una singola o più tipologia di movimento di base (rotazionale-scorrimento, traslazionale-oscillante o una combinazione di entrambi, che può dare luogo a espansione-torsione);
- strutture pieghevoli, che permettono di implementare cambiamenti tridimensionali sulla facciata, in particolare per controbilanciare la radiazione solare, la luce diurna e la vista esterna. L'uso di tecniche di piegatura e di ripiegamento non è applicabile solo per realizzare geometrie adattive complesse, ma anche per realizzare deformazioni reversibili;
- strutture a cui vengono applicati materiali innovativi di ispirazione biologica, che elaborano le proprietà con cui i loro organismi naturali possono rispondere a uno stimolo esterno e interno che potrebbe non richiedere energia (strategia passiva o no-tech) o con la minima richiesta di energia (strategia attiva o low-tech). A rientrare in quest'ultima categoria sono i materiali a memoria di forma (SMM), cioè tutti i materiali in grado di mantenere la forma deformata fino a quando non viene applicato lo stimolo appropriato per recuperarla, e i materiali a cambiamento di forma (SCM), simili agli SMM, ma in grado di accettare un ciclo di feedback per rispondere correttamente come i polimeri piezoelettrici o elettroattivi.

Nella pagina seguente vengono illustrate le principali tipologie adattive di facciata.

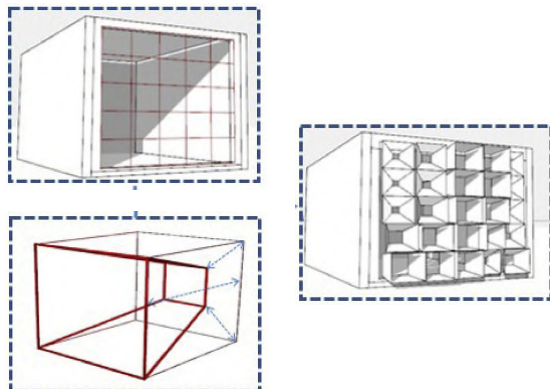


Figura VI.1.17. Configurazione di una griglia di corpi rigidi

Fonte immagine: S.M. Hosseini, *Building and Environment* - S.O. Sadegh *Journal of Building Engineering*

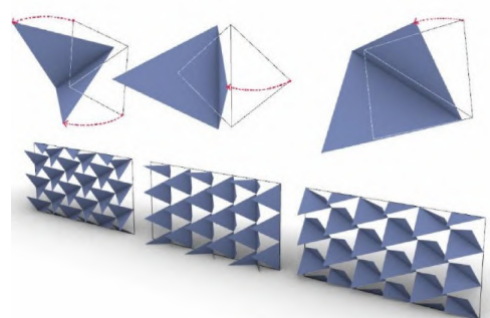


Figura VI.1.18. Configurazione di una griglia di strutture pieghevoli

Fonte immagine: S.M. Hosseini, *Building and Environment* - S.O. Sadegh *Journal of Building Engineering*

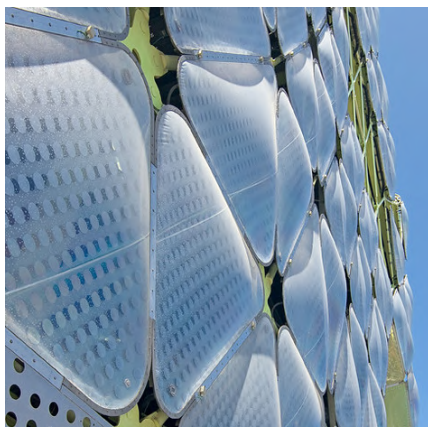


Figura VI.1.19. ICT-MEDIA, Barcelona

Fonte immagine: J.M. Hernández Photographer

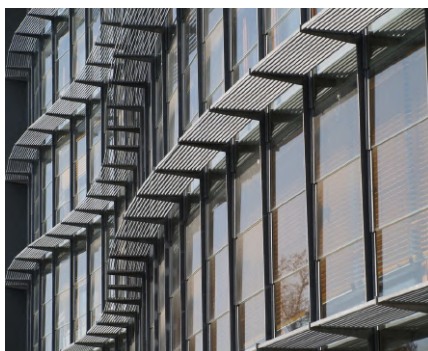


Figura VI.1.20. Moravian Library, Brno

Fonte immagine: T.Adámek and P. Benedikt Architects

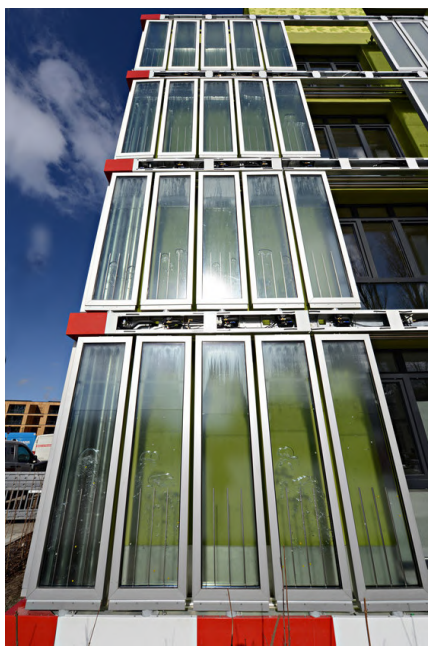


Figura VI.1.21. BIQ House, Germania

Fonte immagine: Colt International, Arup

ACTIVE FACADE

Le facciate di questo tipo consistono nell'integrazione di sistemi tecnologici attivi senza elettronica sofisticata che consentono agli involucri di autoregolarsi utilizzando parametri interni ed esterni per migliorare il risparmio energetico, tuttavia, senza interazioni da parte dell'utente. Un esempio di Active Facade è l'ICT-MEDIA a Barcelona: utilizza cuscini d'aria in etilene tetrafluoroetilene (ETFE) che rispondono al gonfiaggio o allo sgonfiaggio per filtrare i raggi UV e il calore dell'85%.

PASSIVE FACADE

La facciata nasce da una serie di soluzioni architettoniche di progettazione passiva per rispondere alle variazioni climatiche come strato di protezione dalle intemperie di un edificio; in questo modo promuove le condizioni di comfort interno complessivo. Sono considerate facciate passive le facciate a doppia pelle (DSF), il muro di Trombe, le facciate buffer e le facciate ventilate opache. Questa tecnologia viene sfruttata dalla Moravian Library di Brno: una DSF multipiano può trasformarsi in un'unica pelle nella stagione di raffreddamento aprendo le lamelle, mentre nella stagione di riscaldamento le lamelle vengono chiuse per utilizzare l'aria preriscaldata all'interno dell'intercapedine come aria fresca per il sistema di ventilazione sul tetto.

BIOMIMETIC FACADE

La pelle degli organismi viventi è la fonte di imitazione più semplice per i sistemi adattativi: si tratta di un meccanismo basato sul problema o sulla soluzione, come ad esempio la risposta alla luce o al sole, rispettivamente come fototropismo ed eliotropismo, o la risposta all'umidità. In Germania, la BIQ House ha utilizzato bioreattori all'interno di un sistema di finestre a quattro strati per introdurre aria nell'acqua: questo provoca un movimento verso l'alto dell'acqua per portare le alghe alla luce del giorno e decomporle per la produzione di ulteriore energia.

KINETIC FACADE

Questi tipi di involucro sono definiti come sistemi meccanici complessi in cui un certo tipo di movimenti, come spostamento, scorrimento, espansione, piegatura o trasformazione, garantiscono geometrie variabili e mobilità del sistema. Essi richiedono una regolazione efficiente delle condizioni al contorno esterne piuttosto che dell'ambiente interno, con cui non hanno interazioni, e della forza di attuazione per generare il movimento. A Parigi vi è un'applicazione di Kinetic Facade sul Institut du Mond Arabe, tramite l'utilizzo di un meccanismo a "iride attiva" dotato di 30.000 diaframmi fotosensibili, che rispondono alla radiazione solare.

INTELLIGENT FACADE

Una facciata con componenti intelligenti combina il controllo automatico e il controllo degli occupanti come strategie per consentire una capacità dinamica, per indurre cambiamenti in base alle condizioni ambientali, ottimizzando il suo modello di utilizzo, sia individualmente che cumulativamente, sulla base di modelli predittivi con un intervento minimo da parte dell'utente. A Berlino, nel GSW Headquarters, il 70% dell'anno l'edificio è ventilato naturalmente da una canna fumaria termica all'interno del DSF e il controllo automatico della ventilazione, sia naturale che meccanica, mentre è possibile l'esclusione manuale attraverso un regolatore di zona montato a parete.

INTERACTIVE/MEDIA FACADE

La facciata può essere interattiva integrando elementi tecnologici come sensori, microprocessori o sistemi di gestione automatica dell'edificio in combinazione con input umani per avviare una risposta. Questi tipi di facciata presentano aspetti adattivi dell'edificio, ma non contengono capacità di influenzare il comfort interno. La tecnologia viene applicata nel museo nazionale dell'energia Hyposurface in Spagna, il quale consiste in piastre metalliche triangolate trasformabili che sono state azionate da un letto di 896 pistoni pneumatici per deformarsi in tempo reale in base a diversi input umani, come suoni e movimenti.

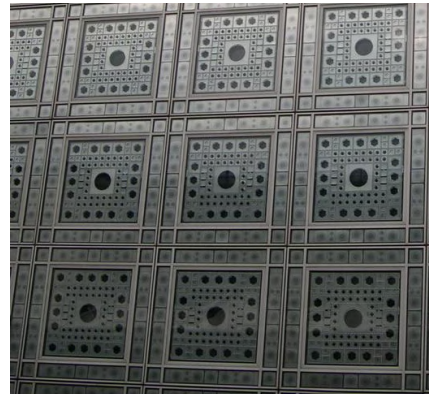


Figura VI.1.22. Institut du Mond Arabe

Fonte immagine: Structurae



Figura VI.1.23. GSW Headquarters, Berlino

Fonte immagine: NBK Terracotta

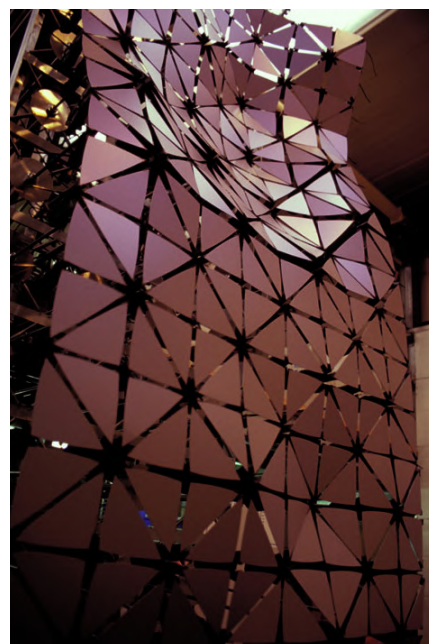


Figura VI.1.24. Hyposurface, Spagna

Fonte immagine: dECOi Architects



Figura VI.1.25. EWE Arena, Oldenburg

Fonte immagine: Colt France

MOVABLE FACADE

Queste tecnologie includono sistemi tecnologici che hanno la capacità di adattarsi rapidamente alle condizioni ambientali e alla posizione attraverso sistemi mobili, come l'inseguimento della posizione del sole per generare energie rinnovabili in diverse scale. La EWE Arena a Oldenburg è un edificio costituito da 200 m² di pannelli fotovoltaici che scorrono a 200 gradi sul perimetro dell'involucro per generare quasi 27 MWh/anno.



Figura VI.1.26. Kiefer Technic Showroom, Austria

Fonte immagine: P.Ott Photographer

RESPONSIVE FACADE

Il sistema è simile alle facciate cinetiche o intelligenti, tuttavia, le soluzioni più tipiche sono caratterizzate da sensori, attuatori e dispositivi di controllo che consentono di modificare la configurazione della facciata in base alle prestazioni programmate, mentre la differenza principale è la capacità di accettare le interazioni degli utenti. Con questa tecnologia, il Kiefer Technic Showroom ottimizza l'ambiente interno in base alle condizioni esterne attraverso pannelli di alluminio perforati che sono controllati da sensori di luce a livello centrale e consentono agli utenti di escludere il controllo automatico quando è necessario.

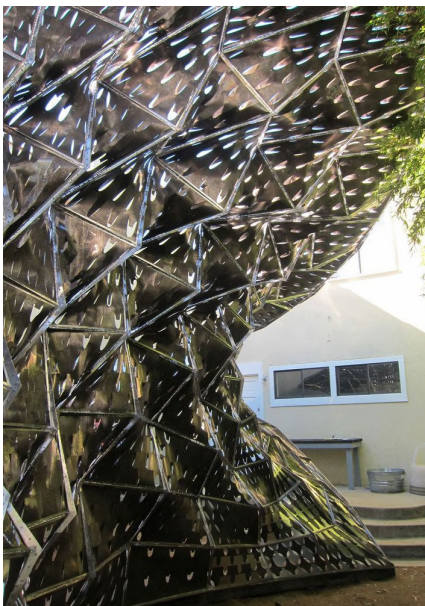


Figura VI.1.27. Bloom Project, Los Angeles

Fonte immagine: DO|SU Studio Architecture

SMART FACADE

Questo sistema contiene funzioni tecnologiche incorporate che comportano determinate risposte ambientali, e opera modificando le proprietà fisiche interne o gli scambi esterni. Inoltre, possono svolgere un ruolo significativo nella combinazione con altri tipi di facciate, come le facciate reattive o intelligenti, grazie alle loro impostazioni intrinseche. Di conseguenza, queste risposte possono essere classificate in diverse caratteristiche: immediatezza (risposte a breve termine), transitorietà (risposta a diversi stati ambientali), auto-attuazione (controllo intrinseco), selettività (risposta prevedibile) e immediatezza (risposta locale), e non richiedono energia esterna. Bloom Project a Los Angeles utilizza termo-bimetalli come leghe a memoria di forma che si espandono e si restringono a diversi livelli di temperatura per controllare la luce del giorno.

SWITCHABLE FACADE

Le facciate commutabili si limitano a componenti trasparenti in grado di regolare i flussi di energia e luce sfruttando i vantaggi dei materiali adattivi. Questa regolazione può essere controllabile (attiva) in risposta all'automazione dell'edificio e agli input degli occupanti, oppure non controllabile (passiva) in risposta agli input dell'ambiente locale. Un esempio tipico di tali facciate è rappresentato dai sistemi di vetrate elettrocromiche o termocromiche che possono passare dallo stato trasparente a quello opaco utilizzando materiali intelligenti come il PCM.

L'esplorazione dei sistemi adattivi attraverso prestazioni, proprietà dei materiali, tecnologie e capacità di movimentazione permettono di definire un orizzonte di scelta ampio, il quale va incrociato con le necessità e target richiesti dalle specificità del sito e dell'edificio di progetto.

Questo insieme di elementi adattivi può essere considerato alla macroscale o microscale del sistema: in quest'ultimo la scala dimensionale si riferisce a cambiamenti che influenzano direttamente la struttura interna del materiale di cui è composta la facciata. In questo caso, l'adattabilità si manifesta attraverso cambiamenti nelle proprietà termofisiche o ottiche opache, oppure attraverso lo scambio di energia da una forma all'altra. Mentre l'adattamento su macroscale di un involucro di solito si traduce in cambiamenti nella configurazione attraverso parti in movimento, innescando una correlazione tra movimento e sistemi di controllo.

1.2.5. MODALITÀ DI CONTROLLO

Un sistema adattivo impone la necessità di una strategia di controllo per l'attivazione e disattivazione del sistema, essendo l'involucro sottoposto a input esterni ed interni (nel caso in cui la rispondenza sia bidirezionale, altrimenti solo a input esterni).

Vengono distinti differenti tipi di controllo: il primo è il controllo estrinseco, o ad anello chiuso, ha la capacità di sfruttare la retroazione. La retroazione (feedback) implica che gli effetti della



Figura VI.1.28. Testing di moduli integrati con PCM
Fonte immagine: polito.it



Figura VI.1.29. Macroscale di un elemento adattivo di facciata
Fonte immagine: S.Attia, Energy Science & Engineering

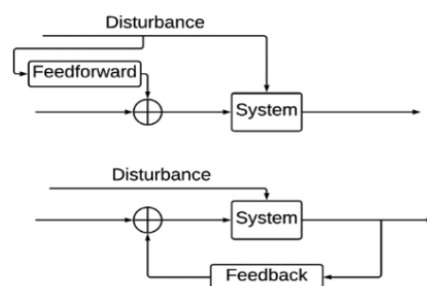


Figura VI.1.30. Sistema di alimentazione e feedback
Fonte immagine: H. Alkhatib, Applied Thermal Energy 185

configurazione corrente (azione) possono essere confrontati con lo stato desiderato (set-point) e, se necessario, il comportamento dell'involucro edilizio può essere regolato attivamente. La struttura a controllo estrinseco è costituita da tre elementi fondamentali: sensori, processori e attuatori; il comportamento adattivo viene innescato tramite due differenti livelli (periferico e centralizzato). In questo modo il sistema si regola in modo continuo e attivo e può reagire a condizioni diverse anche se non previste in fase di progettazione e reagire con sistemi diversi nell'edificio e in altri edifici.

Mentre il controllo intrinseco, o ad anello aperto, ha la capacità di adattamento ed è una caratteristica intrinseca dei sottosistemi che compongono l'involucro edilizio. Il sistema agisce direttamente dalle condizioni ambientali senza input decisionali esterni, quindi può agire immediatamente con meno energia motrice e richiede meno componenti poiché non è necessario un hardware di gestione del controllo. I sistemi di questo tipo sono autoregolanti, in quanto il comportamento adattivo è automaticamente innescato da stimoli ambientali quali: temperatura, umidità relativa, precipitazioni, velocità e direzione del vento, radiazione solare, copertura nuvolosa o livello di CO².

Strettamente correlato al controllo del sistema adattivo è la scala temporale di attivazione, che può variare da secondi a giorni, fino ad arrivare ad archi temporali stagionali e annuali; tutto questo è determinato da decisioni a monte della progettazione e dal livello e tipologia di performance da raggiungere con l'ausilio dell'involucro adattivo. Inoltre, la risoluzione temporale caratteristica del sistema (attivazione, uso) va ad impattare effetti che sono percepibili durante l'intera vita dell'edificio.

Partendo dalle fluttuazioni di natura stocastica, a breve termine, nell'ordine dei secondi (come rapide variazioni di velocità e direzione del vento), si passa all'arco dei giorni, con un intento predittivo e di continuità del meccanismo, in modo che venga ripetuto, durante archi temporali più lunghi (fluttuazioni della temperatura dell'aria); questo permette di arrivare a cicli giorno-notte, percepibili anche nelle condizioni meteorologiche al contorno, come la temperatura dell'aria ambiente e la disponibilità di radiazione solare. I cicli stagionali come l'inverno, la primavera, l'estate e l'autunno impongono condizioni al contorno molto diverse, soprattutto alle medie e alte latitudini; gli edifici in grado di adattarsi a questi cambiamenti dovrebbero fornire notevoli vantaggi in termini di prestazioni. Ad esempio, i sistemi adattivi stagionali, possono promuovere o sopprimere il trasferimento di calore, a seconda del carico termico della zona e della differenza di temperatura con l'esterno.

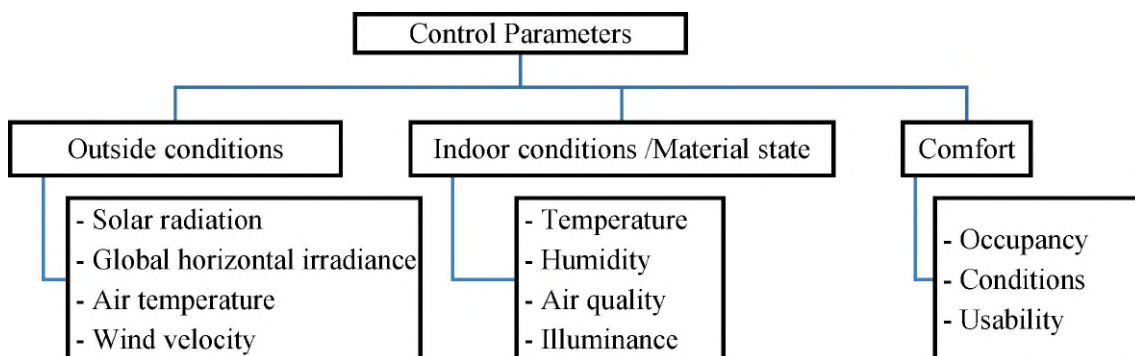


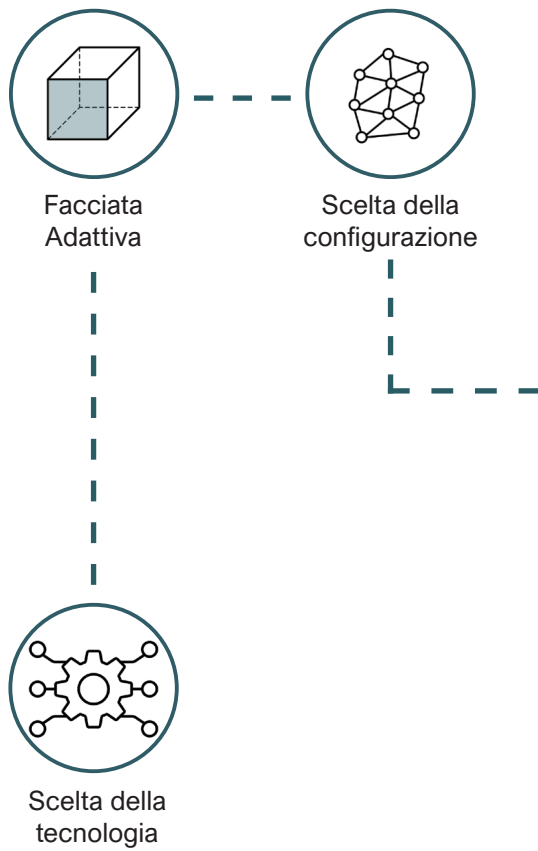
Figura VI.1.31. Tipologie di parametri di controllo

Fonte immagine: H. Alkhatib, *Applied Thermal Energy* 185

1.2.6. OVERVIEW CONFIGURAZIONI

	PERFORMANCE	MOVIMENTO	CONTROLLO	INTERAZIONE
Active Facade	Energetica e comfort termico	Unità rigide fisse	Estrinseco	Nessuna
Passive Facade	Comfort interno (visivo - acustico - termico)	Unità rigide fisse	Estrinseco	Nessuna
Biomimetic Facade	Energetica	Unità rigide e/o materiali innovativi	Estrinseco	Nessuna
Kinetic Facade	Comfort visivo e termico	Unità rigide mobili (traslazione, rotazione, espansione, distorsione, piegatura ...)	Estrinseco	Nessuna
Intelligent Facade	Comfort visivo e termico	Unità rigide fisse	Estrinseco	Intervento dell'utente minimo
Interactive Facade	Comfort visivo e acustico	Unità rigide mobili (traslazione, rotazione, espansione, distorsione, piegatura ...)	Estrinseco	Input umani
Movable Facade	Energetica e comfort termico-visivo	Unità rigide mobili (traslazione, rotazione)	Estrinseco	Nessuna
Responsive Facade	Comfort visivo e termico	Unità rigide mobili (traslazione, rotazione, espansione, distorsione, piegatura ...)	Estrinseco	Intervento dell'utente
Smart Facade	Comfort interno (visivo - acustico - termico)	Materiali innovativi	Intrinseco	Nessuna
Switchable Facade	Energetica e comfort termico-visivo	Materiali innovativi	Estrinseco	Intervento dell'utente (regolazione attiva)

1.2.7. OVERVIEW FACCIATA ADATTIVA



Active					
Passive					
Biomimetic					
Kinetic					
Intelligent					
Interactive					
Movable					
Responsive					
Smart					
Switchable					

Termocromica					
Elettrocromica					
Fotovoltaica					
Oscurante					
PV - TE					
Integrata con collettori solari					
Opaca commutabile					
Trasparente commutabile					
Diodo termico					
DV					
Termochimica					

02

CONCEPT STUDIO DI FACCIATA

2.1. IDEAZIONE DEL SISTEMA

2.1.1. SELEZIONE DELLO SPAZIO D'APPLICAZIONE

In seguito all'esplorazione dei vari sistemi di involucro adattivo esistenti sul mercato, integrando con la definizione dei target normativi dell'edificio e le caratteristiche climatiche esistenti nel sito, si è arrivati ad una definizione dello spazio d'applicazione per il sistema adattivo. In questo modo si vuole andare a migliorare le prestazioni dell'edificio e il comfort interno degli occupanti, in accordo con la sinergia tra "scheletro" (costruzione) e "pelle" (involucro), come se quest'ultima fosse un elemento filtrante ma allo stesso tempo anche di connessione fra l'interno e l'esterno.

I fronti scelti per l'applicazione del sistema sono quello Sud e Ovest, poichè la radiazione solare incide maggiormente sui due lati: il lato Ovest, così come quello a Nord, presenta le problematiche maggiori in relazione all'inquinamento acustico proveniente dalla Boulevard Periferique, per cui gli ambienti interni necessitano anche di un filtro acustico, oltre che solare. Mentre, per quanto riguarda il lato Sud, è importante avere sul fronte un sistema che aiuti a regolare il buffer termico dell'ingresso principale all'arena. La più grande fonte energetica captante che può essere sfruttata è quella orizzontale, costituita dall'enorme copertura; la grande quantità di radiazione incidente potrebbe essere sfruttata tramite un sistema di captazione e stoccaggio e potrebbe venire immagazzinata in modo da alimentare gli impianti elettrici dell'edificio.

Oltre alle condizioni climatiche esterne, vengono anche valutate le tipologie di ambiente interno a cui verrebbero applicate, in questo caso terziario e servizi, in modo da migliorare la condizione interna dei suoi occupanti: le funzioni sui fronti scelti sono principalmente uffici e spazi pubblici di circolazione. Questi, infatti, necessitano di particolare attenzione alla regolazione e mediazione fra le condizioni climatiche esterne ed interne, con cura degli aspetti di comfort termico, luce diurna, vista, abbagliamento, illuminazione, risparmio energetico e sicurezza degli occupanti.

Altro aspetto chiave della progettazione del sistema di facciata è stata la definizione di rapporti fra pieni e vuoti, superficie opaca e vetrata, rapporto con il campo visivo. Il fronte Ovest, con la radiazione durante le ore pomeridiane molto elevata, richiede un livello ponderato di aperture, per garantire ulteriore comfort termico e visivo dei lavoratori all'interno degli uffici. Questo insieme ad un efficiente sistema schermante, che regoli il livello di luce.

Così si opta per una switchable facade nel fronte Ovest, nella misura in cui, il controllo e regolazione dei parametri sia rispondente agli stimoli sia esterni che interni; il sistema è preferibile per questa zona poiché vi si trovano le funzioni terziarie e zone uffici, in cui è importante regolare il comfort degli occupanti; infatti, la tipologia di ambiente richiede la permanenza dei lavoratori per diverse nella postazione e quindi richiama la necessità di comfort visivo e termico. Inoltre, considerando la vicinanza dell'edificio alla Boulevard Periferique, è necessaria una zona tampone come filtro rispetto all'ambiente esterno; oltre a richiedere il controllo dell'abbagliamento e la regolazione della radiazione, quest'ultima può essere sfruttata per la produzione di energia integrando celle fotovoltaiche nella tecnologia di facciata.

La facciata Sud invece, richiede un sistema di oscuramento che garantisca unicamente il controllo della radiazione; questo è necessario data la forte affluenza di persone dall'ingresso principale e la loro presenza nello spazio di circolazione. Per questo viene scelta l'applicazione di un sistema capace di adattarsi rapidamente alle condizioni ambientali e seguire il movimento del sole attraverso sistemi di schermatura mobili. La scelta del sistema di movable facade, permette la movimentazione degli elementi di facciata, tramite l'alimentazione per mezzo di corrente elettrica stoccata nei sistemi di raccolta.

L'involucro reattivo risponde alle forze naturali, essendo stato programmato per produrre un effetto visivo desiderato o per muoversi secondo determinati parametri. Si decide quindi di procedere secondo un approccio top-down, e quindi individuando prima gli obiettivi che deve perseguire, per dare poi effettive risposte a questi, oltre ad un approccio morfologico; infatti, la natura diventa l'ispirazione per il design e il funzionamento del sistema.

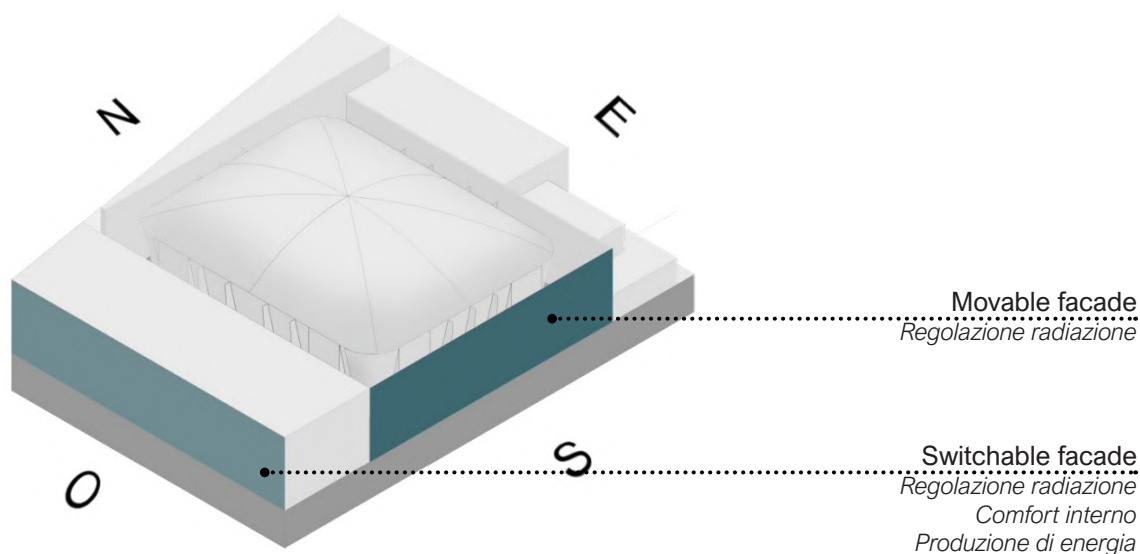


Figura VI.2.1. Prospetti a cui è applicato il sistema di facciata adattiva

2.1.2. ISPIRAZIONE E BIOMIMETICA

L'involucro edilizio è uno dei più importanti parametri di progettazione che determinano l'ambiente fisico interno, influenzando così gli usi energetici negli edifici; per questo è importante garantire la migliore conformazione possibile e per questo è necessario permettere dinamicità e cambiamento dell'involucro, essendo questo soggetto a vari stimoli-input sia esterni che interni e connotato da mutevolezza e incertezza.

L'adattamento è il processo evolutivo per cui un organismo diventa più capace di vivere nel suo habitat: i sistemi e processi naturali offrono un ampio database di strategie e meccanismi che possono essere implementati in progetti biomimetici. Le moderne tecniche costruttive offrono ora ampie opportunità per innovativi involucri adattivi che rispondono meglio al contesto ambientale, permettendo così alla facciata di "comportarsi" come un organismo vivente. L'evoluzione e l'adattamento degli organismi viventi al loro ambiente avviene in tre modi principali: morfologico, relativo alla forma che può assumere un organismo, fisiologico e dunque ai processi chimici scaturiti dall'adattamento e comportamentale, con tutte quelle azioni per garantire la sopravvivenza.

Per capire come i principi naturali possano essere utilizzati per creare involucri architettonici adattivi, la metodologia proposta è suddivisa in due fasi principali: la prima è riferita a come identificare le strategie e i meccanismi adattivi della natura; la seconda è riferita a come astrarre e trasformare le idee selezionate in soluzioni innovative per gli edifici. Per quanto riguarda la prima fase è necessario rintracciare il fenomeno, e oltre a descriverlo, chiarire la sua funzione e il processo di attuazione; una volta compiuti questi step l'architettura si propone di ricrearli tramite due approcci possibili: possibilità di movimento e risposta dei materiali.

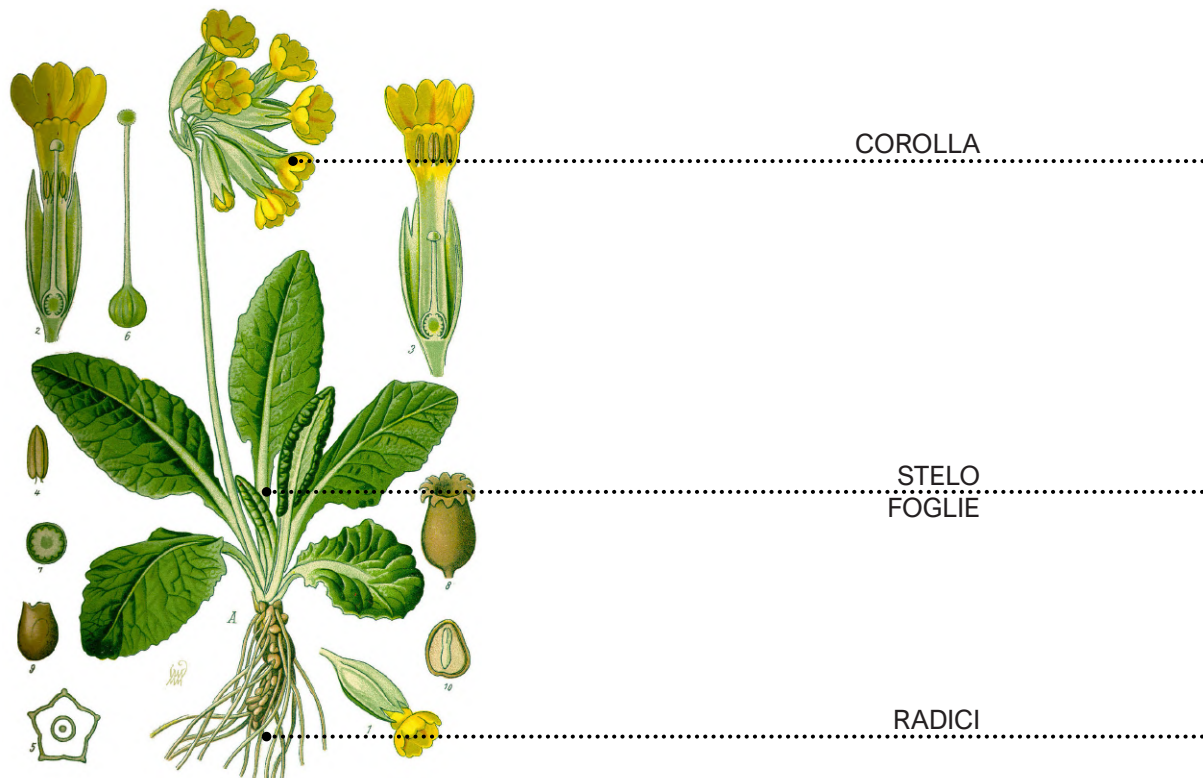
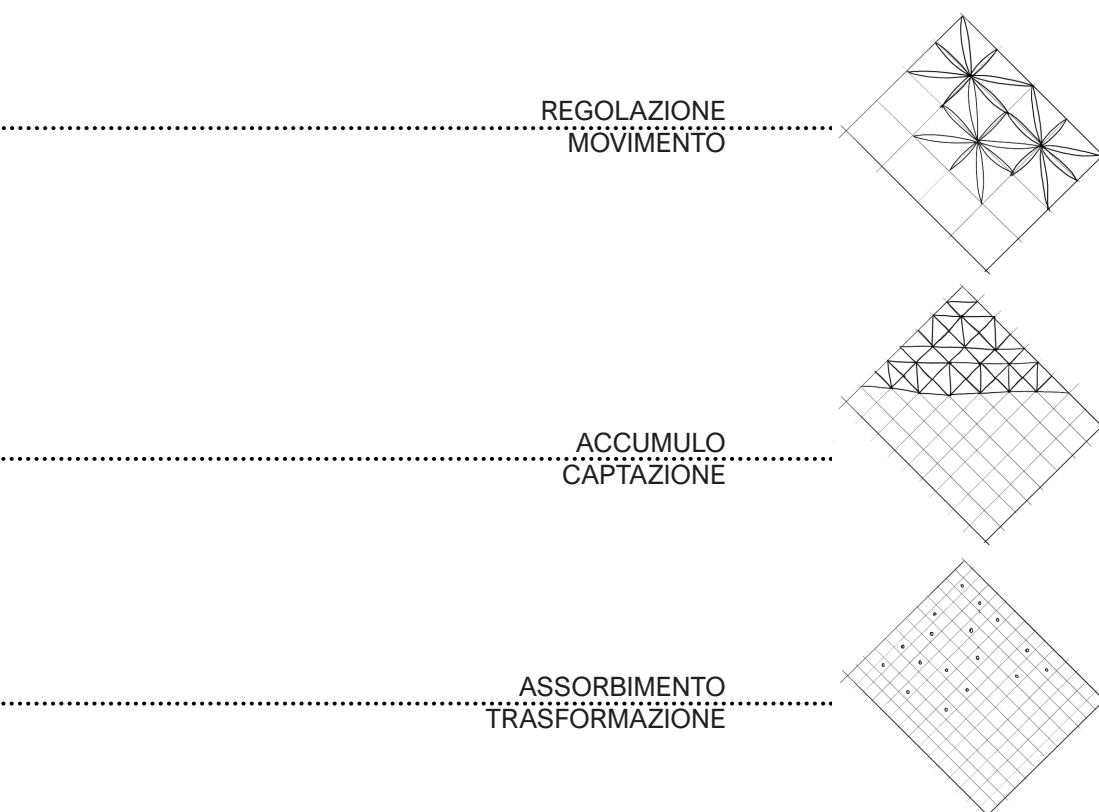


Figura VI.2.2. Concept di facciata derivante dall'osservazione della primula dei giardini

È sufficiente osservare un qualunque giardino o aiuola in cui crescono fiori nella città di Parigi: analizzando le differenti parti di cui è composto e la sua crescita, è possibile trarne ispirazione per la morfologia di un sistema Double Skin Facade (DSF). In tal senso, analizzando ad esempio le varie porzioni del fiore, è possibile riconoscere corolla, stelo, foglie e radici: discretizzando le diverse componenti si riconosce nella corolla la parte più esterna e in diretto contatto con gli agenti atmosferici e con la radiazione solare, che in un sistema di facciata può diventare il cinematismo, la parte mobile che permette una prima selezione dell'energia entrante e/o protezione degli strati più interni. Inoltre, può ispirare la morfologia e la forma del singolo modulo di facciata e l'aspetto aggregato del componente per tutta la facciata.

Passando poi per lo stelo, come fosse una sottostruttura che da stabilità e rigidità alle varie parti, si arriva alle foglie, emblema del meccanismo di fotosintesi e quindi discretizzabili come la porzione addetta all'assorbimento di energia, il materiale che, attraverso le sue proprietà è addetto alla captazione e trasformazione dell'energia, applicabile analogamente all'involucro adattivo. Infine, come le radici del fiore sono la connessione alla terra, risultano anche l'ultimo layer, quello più interno in un possibile sistema di facciata, che richiama la connessione all'edificio, agli ambienti più interni e agli occupanti: così come le radici assorbono le sostanze nutritive necessarie per alimentare la pianta, l'ultimo livello di questo involucro adattivo può risultare un sistema di trasformazione dell'energia, oltre che l'interfaccia di contatto con gli occupanti, quindi con il compito di controllare il meccanismo.

Altra ispirazione per l'involucro adattivo è l'arte gotica, con le sue volte maestose, dove un fulcro centrale collega tutti gli archi che vanno poi a diradarsi: questo può risultare analogo per un meccanismo che permetta apertura e chiusura di un modulo, così che il suo cinematismo sia dotato di un nodo centrale su cui convergono gli elementi che vengono movimentati.



2.2. MOVIMENTAZIONE E CINETICA

La cinetica del sistema di facciata viene sviluppata al fine di garantire l'adattività agli agenti atmosferici e la possibilità di controllo dell'elemento; l'obiettivo è quello di modulare la captazione da parte della tecnologia più interna e regolare la filtrazione della luce all'interno degli ambienti interni, garantendo il comfort dei fruitori.

2.2.1. PROGETTAZIONE

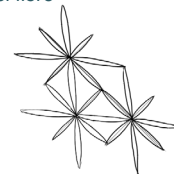
L'immagine naturale del fiore viene discretizzata in fasi: a partire dalla corolla del fiore si genera una griglia di forma triangolare equilatera, da cui derivano i vari moduli. Successivamente per preservare l'adattabilità e la capacità di movimento nelle tre dimensioni del piano dagli assi geometrici tracciati si ricava la geometria di un origami.

Una geometria tale viene creata per soddisfare al meglio le esigenze di trasportabilità in una condizione originale, per poi avere la capacità di deformarsi o espandersi nella forma desiderata. L'adattabilità della struttura consente anche di ottenere varie configurazioni spaziali per adattarsi alle diverse esigenze programmatiche.

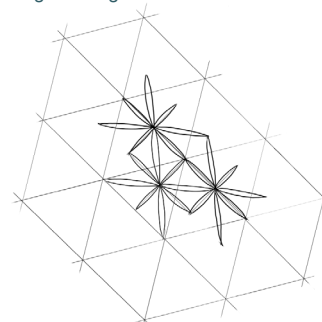
La forma del sistema è quella di un fiore geometrico, discretizzabile in moduli triangolari da 75 cm l'uno, montati su una sottostruttura in acciaio: questo garantisce la costruibilità e trasportabilità del sistema. Gli elementi sono stati studiati in una scala dimensionale a misura d'uomo, in proporzione alle dimensioni dei moduli per ufficio di circa 3,5/4 m ciascuno: in questo modo l'elemento di facciata risulta meno impattante per la vista dall'interno.

Inoltre, la dimensione dei moduli, garantisce una maggiore facilità di manutenzione e libertà di controllo: basti pensare alle Al Bahar Towers di Dubai, che hanno un sistema cinetico simile ma con una dimensione dei moduli che copre un intero piano dell'edificio. Quest'ultima incide sul fatto che ogni "ombrello" presente sul piano influenza fortemente la quantità di luce che entra negli ambienti: in questo caso il progetto prevede moduli più piccoli anche per gestire meglio l'attivazione e la disatti-

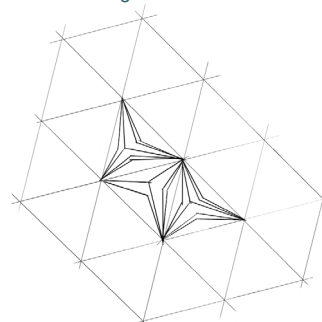
① Forma del fiore



② Griglia triangolare



③ Assi del triangolo



④ Origami rigido

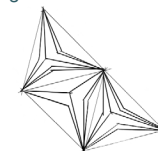


Figura VI.2.3. Composizione a partire dalla biomimetica del fiore

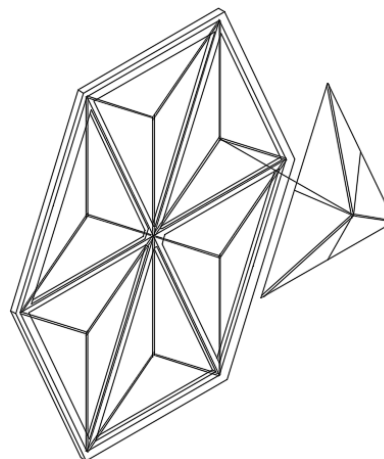


Figura VI.2.4. Schema esemplificativo dei moduli di facciata

vazione di n moduli per ogni piano dell'edificio, garantendo la versatilità del sistema.

2.2.2. MECCANISMO DI FUNZIONAMENTO

L'idea alla base è quella di avere più layer d'involucro:

- il primo è quello che regola la luce in ingresso, in tessuto, mobile;
- il secondo, fisso, si occupa di racchiudere la tecnologia che accumula e capta la radiazione per poi trasformarla in energia.

Il meccanismo più esterno è soggetto all'azione degli agenti atmosferici, in particolare l'azione del vento e deve essere verificato nei suoi cinematismi massimi ammissibili per non incorrere in deformazioni del sistema. Per questo, i vincoli che schematizzano il sistema sono cerniere agli estremi dei moduli triangolari e un carrello centrale che regola la movimentazione. Il sistema si apre e chiude "a ombrello", tramite un perno centrale che trasla lungo un asse perpendicolare al piano dove si trovano le cerniere fisse; il triangolo a sua volta presenta giunti strutturali che permettono la piegatura degli estremi, proprio come un origami tridimensionale.

L'apertura del sistema verso l'esterno viene esclusa per il rischio di oscillazioni dovute all'azione del vento che insiste sul fronte considerato: questo aprirebbe la possibilità di creazione di cinematismi non ammissibili, fuori dal piano di appartenenza dei punti di controllo; inoltre, non garantirebbe corretta tenuta all'acqua e all'aria dell'involucro. Altrettanto viene fatto per la movimentazione a partire da due punti di controllo (due lembi del triangolo), poiché, oltre a presentarsi problemi legati a spostamenti non ammissibili, porterebbe alla luce una non corretta movimentazione del sistema di facciata.

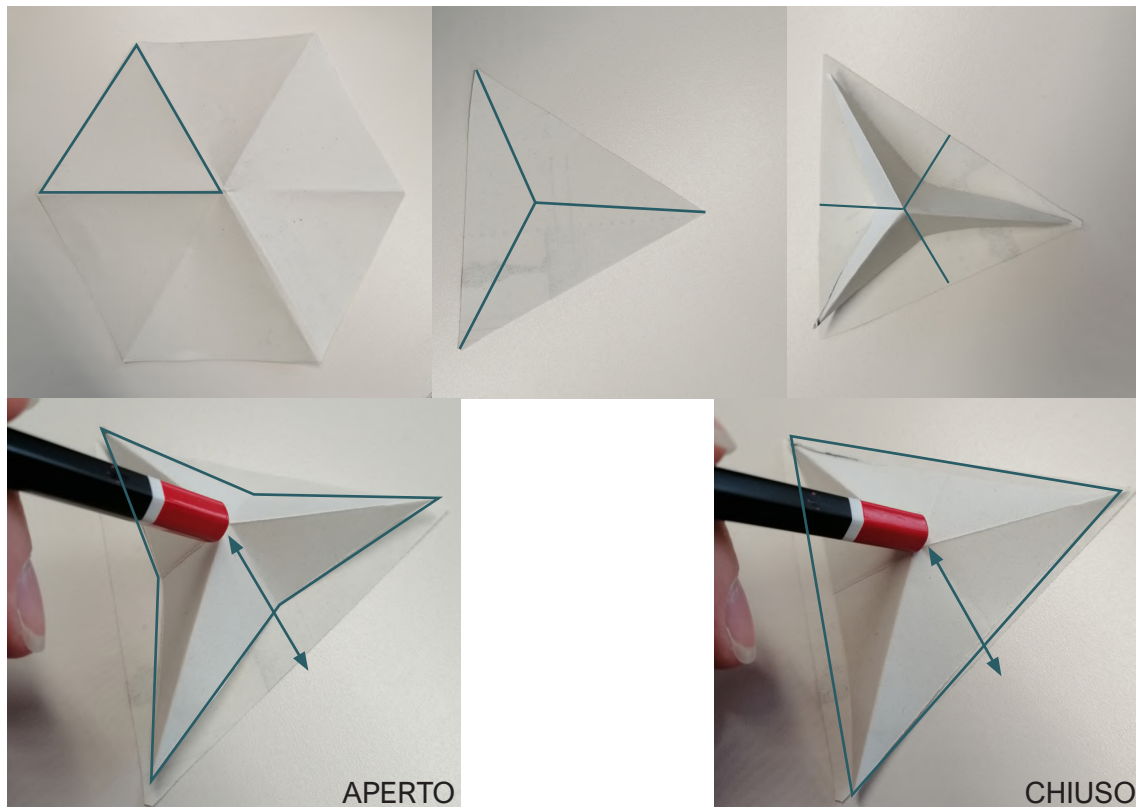


Figura VI.2.5. Movimentazione dei moduli di facciata tramite gli origami

2.3. MODELLAZIONE PARAMETRICA DELL'ELEMENTO

Per valutare e visualizzare la cinematica della facciata, è stato sviluppato un modello parametrico tramite Grasshopper per simulare il cinematismo degli elementi. L'approccio parametrico sull'involucro permette di rispondere al movimento del sole durante tutto l'arco della giornata, in modo da ridurre l'abbagliamento e modulare il guadagno solare, seguendo i cicli stagionali.

2.3.1. PROCESSO

Partendo da una griglia triangolare sul piano XY, la cui estensione in x e y può essere variata per visualizzare diversi moduli, è stata considerata una singola cella triangolare equilatera di lato unitario per semplificare la modellazione. Si sono quindi distinti i segmenti della cella e i vertici (A_i , A' , A'') e si è individuato il centro della cella (O).

Il segmento $A - A'$ è stato quindi selezionato e diviso a metà, definendo il punto B' e discretizzando ulteriormente la cella. Dal centro della cella è stata individuata anche la direzione Z come riferimento per il movimento. Quindi, dividendo la lunghezza di $A_i - A'$ per un valore di 30 (dimensione scelta e modificabile in base a valutazioni successive) e utilizzando il risultato ottenuto come intensità di un vettore di traslazione in direzione Z applicato a B' , si è individuato il punto B nella posizione iniziale (B_i). Analogamente, dividendo $A_i - A'$ per un valore di 15 (individuato come descritto sopra) e applicando il vettore di traslazione a O , si è determinato il punto C nella posizione iniziale (C_i).

Per determinare la posizione di C durante il movimento (C_m), inizialmente è stata calcolata la distanza dal centro della cella O a un punto attrattore esterno P di posizione variabile (e quindi non rappresentato), determinato mediante un semplice input di coordinate. Allo stesso tempo, il lato della cella è stato diviso per un valore pari a 5 (identificato come descritto in precedenza) e il risultato ottenuto è stato definito come il valore massimo ammissibile del movimento, ottenendo così un obiettivo di movimento ammissibile da 0 a 0,2. Combinando il valore

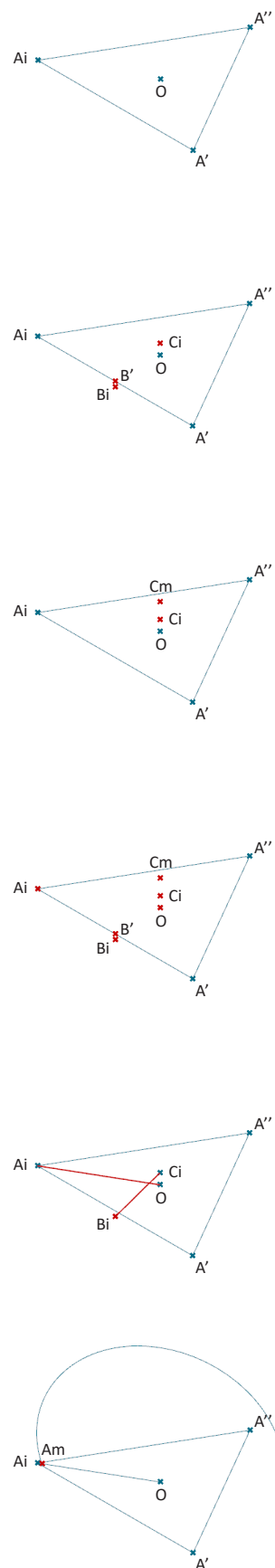
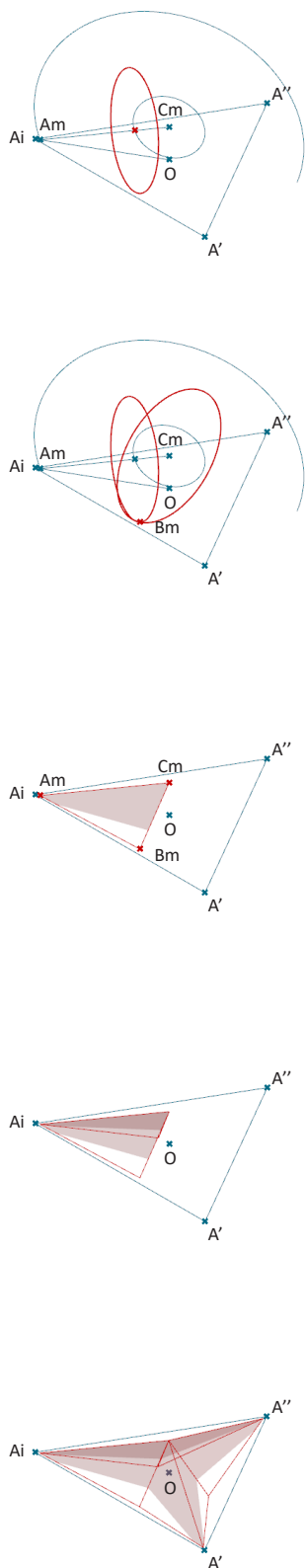


Figura VI.2.6. Determinazione di punti e segmenti del modulo



della distanza tra P e O, il punto Ci e il target di movimento selezionato, è stato determinato il valore dell'intensità del vettore di traslazione in direzione Z da applicare a C, ottenendo così il punto della posizione di movimento (Cm).

Una volta definiti tutti questi punti, sono state eseguite varie operazioni trigonometriche per stabilire i piani e i raggi di movimento dei punti A e B. Trovando il piano Pt attraverso l'intersezione del punto Cm, O e A nella posizione iniziale (Ai), e ruotandolo di 60 gradi intorno a O, è stato ricavato il piano Pt2. È stata inoltre determinata la linea di congiunzione tra Ai e O, la cui lunghezza è stata divisa per il coseno dell'angolo alfa, ottenuto tra i vettori Ai-Ci e Ai-O, per ottenere il valore r1. Invece, la distanza tra Ci e Bi, chiamata r3, è stata prima moltiplicata per il coseno dell'angolo beta, ricavato tra i vettori Ai-Ci e Ci-Bi, ottenendo il valore d; successivamente, questa distanza è stata moltiplicata per il seno dell'angolo beta per ricavare r2.

La circonferenza di raggio r1 è stata poi tracciata nel piano Pt, intersecandola con la retta A-O per determinare il punto A in movimento (Am). Si è poi determinato un cerchio di raggio d sul piano Pt e lo si è fatto intersecare con la retta Am-Cm. Dal punto di intersezione è stato creato un piano in direzione Z a partire dal vettore Am-Cm ed è stato costruito un cerchio di raggio r2. Poi si è tracciato il cerchio di raggio r3 sul piano Pt2 e, intersecandolo con il cerchio di raggio r2, si è determinato il punto mobile B (Bm). Unendo i punti Am-Bm e Bm-Cm, si è ottenuta la superficie della parte analizzata della cella in posizione di movimento. Specchiandola rispetto al piano Pt, si è ottenuta la prima punta del modulo, poi replicata mediante una matrice polare rispetto a O per tutti i vertici della cella.

In questo modo si costituisce un modulo triangolare ripetibile, che viene dimensionato secondo le considerazioni fatte in precedenza. Il modello parametrico del cinematismo della facciata sarà la base delle successive simulazioni: così verranno determinate caratteristiche qualitative dei materiali, componenti e dimensioni dell'intero sistema.

Figura VI.2.7. Costruzione del modulo cinetico di facciata

03

MATERIALI E
TECNOLOGIA

Il sistema adattivo d'involucro viene combinato con tecnologie innovative che vanno a sfruttare la grande quantità di radiazione solare incidente sulla superficie captante Ovest e Sud: l'integrazione di celle fotovoltaiche con nuovi materiali ad alte prestazioni diviene il modo migliore per combinare architettura e tecnologia. Quest'ultima è oggetto di esplorazione nel seguente paragrafo, al fine di definire i criteri necessari per la scelta del sistema più performante e compatibile al progetto.

3.1. BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAIC (BIPV)

Il fotovoltaico integrato negli edifici (Building Integrated Photovoltaics, BIPV), che consiste in sistemi di raccolta solare per la produzione di energia elettrica integrati senza soluzione di continuità, ha mostrato un potenziale significativo per la realizzazione di architetture urbane sostenibili NZEB (Nearly Zero Energy Building). La tecnologia solare fotovoltaica è infatti un modo promettente per sfruttare la radiazione solare, in quanto genera energia elettrica in loco attraverso l'effetto fotovoltaico delle celle solari impiegate.

La transizione verso un'architettura energeticamente sostenibile è attualmente in corso in aree con bassa densità di popolazione, mentre nelle città, dove il costo del terreno per l'installazione di

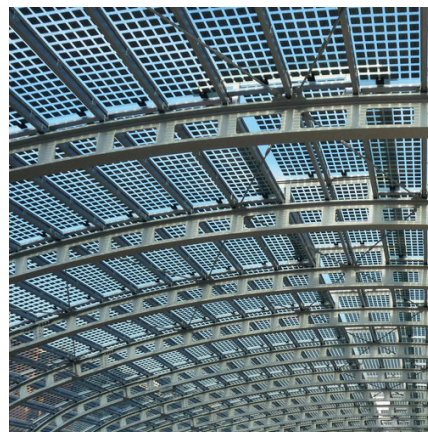


Figura VI.3.1. BIPV in copertura
Fonte immagine: Architectural Solar Association

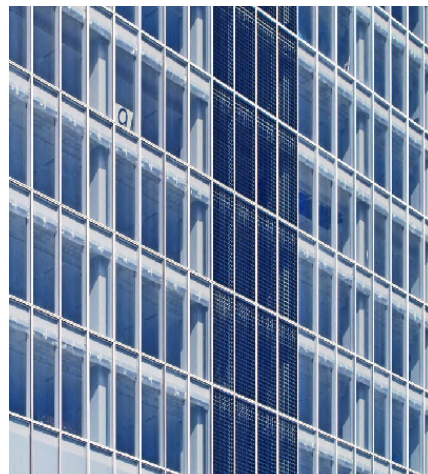


Figura VI.3.2. BIPV in facciata
Fonte immagine: Architectural Solar Association

fotovoltaico a terra (PV) è proibitivo, lo spazio sul tetto risulta troppo scarso per accogliere i moduli fotovoltaici necessari per sostenere i requisiti elettrici degli edifici. Inoltre, nel prossimo futuro, si prevede un ulteriore aumento drammatico della domanda di energia elettrica a causa dell'uso diffuso di veicoli completamente elettrici.

L'integrazione architettonica degli impianti fotovoltaici è quindi uno dei temi fondamentali dell'architettura contemporanea per ottimizzare l'efficienza tenendo conto delle proporzioni, della morfologia e dell'estetica del progetto. Per questo motivo, la tecnologia fotovoltaica integrata negli edifici (BIPV) è diventata un punto di riferimento emergente, in quanto, servendo contemporaneamente da materiale per l'involucro dell'edificio e da generatore di energia, i sistemi possono garantire un risparmio sui costi dei materiali e dell'elettricità, ridurre l'uso di combustibili fossili e le emissioni di gas che danneggiano l'ozono e aggiungere interesse architettonico all'edificio.

Rispetto ai materiali da costruzione convenzionali, un attributo distintivo del BIPV è appunto il suo aspetto: esistono vari tipi di moduli fotovoltaici che possono essere integrati negli involucri degli edifici, offrendo diverse possibilità per un design architettonico innovativo. Nonostante siano produttori di energia, i moduli fotovoltaici possono infatti fungere da dispositivi opachi o da componenti semitrasparenti; inoltre, alcuni moduli possono essere flessibili, colorati e di grande impatto visivo, creando così vari effetti visivi e rendendo al tempo stesso gli edifici ecocompatibili. La tecnologia fotovoltaica integrata negli edifici offre perciò una soluzione estetica, economica e tecnica per l'autosufficienza elettrica degli edifici.

3.1.1. CLASSIFICAZIONE BIPV

I sistemi BIPV possono essere classificati secondo differenti modalità. Una prima differenziazione riguarda le modalità di alimentazione e di accumulo:

- il tipo connesso alla rete, solitamente collegato a una rete elettrica che funge da componente di accumulo nel sistema e garantisce la stabilità e l'affidabilità del sistema;
- il tipo autonomo (stand-alone), che impiega batterie per l'accumulo di energia in eccesso. Il sistema, compreso l'accumulo, deve essere dimensionato in modo da soddisfare i picchi di domanda/le previsioni di produzione di energia più basse dell'edificio.

In base al modello di integrazione, i sistemi BIPV possono essere classificati come:

- sistemi integrati nell'edificio, adatto per i nuovi edifici, sostituendo i materiali da costruzione convenzionali con moduli fotovoltaici;
- sistemi fotovoltaici applicati all'edificio, facilmente applicabile alle costruzioni esistenti aggiungendo moduli fotovoltaici ad alcune parti del loro involucro. Inoltre, in questi casi, se i moduli fotovoltaici vengono rimossi, gli edifici possono continuare a funzionare normalmente.

Per quanto riguarda la forma dei moduli, i sistemi BIPV si raggruppano in:

- sistemi BIPV a moduli rigidi, che possono essere realizzati con tutte le tecnologie fotovoltaiche disponibili, utilizzando un back-sheet rigido o sottostrutture rigide come plastica, vetro o lastre metalliche;
- sistemi BIPV a moduli flessibili.

Infine, altra distinzione dei sistemi BIPV è in base alle loro proprietà ottiche:

- sistemi opachi, che si riferiscono spesso a sistemi BIPV implementati su involucri edilizi opachi (tetti o pareti), sui quali vengono aggiunti i moduli FV. La luce solare non può passare attraverso il sistema nell'ambiente interno;
- sistemi semitrasparenti, nei quali i materiali vetrati convenzionali sono sostituiti da moduli fotovoltaici semitrasparenti. Di conseguenza, l'elettricità viene prodotta in questi componenti e la funzione di illuminazione diurna di questi componenti viene mantenuta.

3.1.2. COMPONENTI DEL SISTEMA BIPV

Un sistema BIPV completo comprende:

- i moduli FV (che possono essere a film sottile o cristallino, trasparenti, semitrasparenti o opachi). L'efficienza di conversione del fotovoltaico è ridotta da temperature di esercizio elevate, in particolare per le celle fotovoltaiche in silicio cristallino. Per migliorare l'efficienza di conversione, è quindi necessario prevedere un'adeguata ventilazione dietro i moduli per dissipare il calore;
- un regolatore di carica, per regolare la potenza in entrata e in uscita dal banco di batterie di accumulo (nei sistemi stand-alone);
- un sistema di accumulo di energia, generalmente costituito dalla rete elettrica nei sistemi interattivi o da un certo numero di batterie nei sistemi autonomi;
- un'apparecchiatura di conversione dell'energia, tra cui un inverter per convertire l'uscita in corrente continua dei moduli fotovoltaici in corrente alternata compatibile con la rete elettrica;
- alimentatori di riserva opzionali (tipicamente utilizzati nei sistemi autonomi);
- hardware di supporto e di montaggio appropriato, cablaggio e sezionatori di sicurezza.

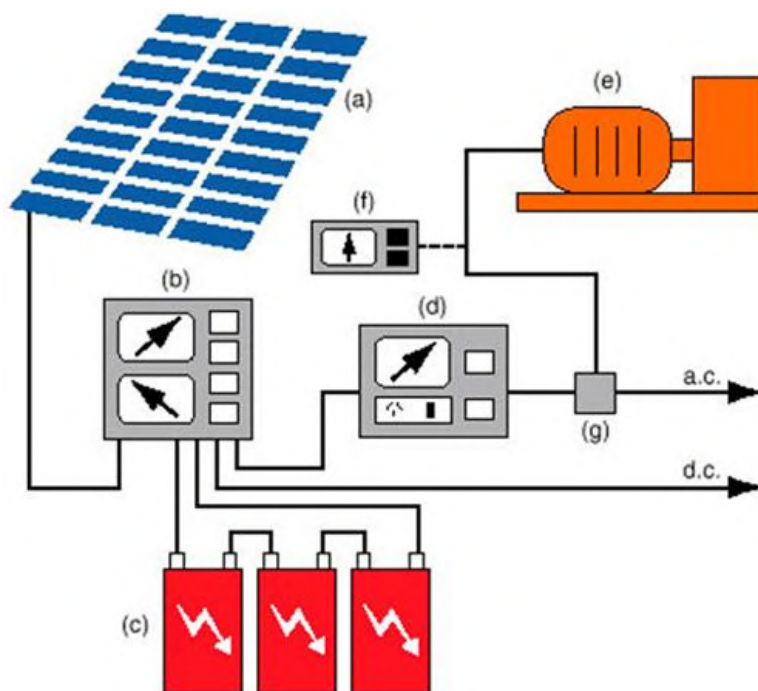


Figura VI.3.3. Diagramma di un sistema BIPV

Fonte immagine: Murdoch University Energy Research and Innovation Group

3.2. CELLE FOTOVOLTAICHE

I moduli fotovoltaici possono essere progettati con diverse potenze grazie all'assemblaggio di celle solari di numero, dimensioni e materiali diversi. Per la produzione di celle fotovoltaiche si possono utilizzare diversi materiali semiconduttori, tra cui materiali a base di silicio (più diffuso), materiali non a base di silicio e una serie di materiali avanzati.

3.2.1. PRIMA GENERAZIONE

La prima generazione di celle fotovoltaiche comprende tecnologie basate su film cristallini spessi. Comprende celle in silicio cristallino (c-Si), policristallino (multi-Si) e monocristallino (mono-Si), nonché celle basate su wafer di c-Si e GaAs utilizzate per celle a giunzione multipla realizzate con materiali semiconduttori diversi.

3.2.2. SECONDA GENERAZIONE

Le celle fotovoltaiche di seconda generazione sono dispositivi a giunzione singola, solitamente prodotti con tecnologia fotovoltaica a film sottile: rispetto alle celle di prima generazione, i materiali di questa generazione di dispositivi hanno un coefficiente di assorbimento significativo e richiedono uno spessore di pochi micron, riducendo significativamente il loro costo di produzione. I prodotti a film sottile incorporano tipicamente strati molto sottili di materiale fotovoltaicamente attivo posizionati su un substrato di vetro o su un substrato metallico utilizzando tecniche di produzione per deposizione sottovuoto, si presentano sotto tre diverse tipologie.

Le celle solari silicio amorfo (a-Si) presentano alcuni vantaggi: dal punto di vista strutturale, sono più flessibili rispetto alle celle convenzionali basate sul silicio e, nonostante la minore efficienza, sono più economiche da produrre. Inoltre, hanno prestazioni migliori a temperature più alte e più basse e possono variare in spessore, dimensioni e aree. Le variazioni spettrali della radiazione al suolo in estate e in inverno influenzano però significativamente l'efficienza delle celle solari a-Si.

Le celle solari a film sottile al diseleniuro di rame e indio e gallio (CIGS) hanno un costo inferiore a quello delle celle a base di silicio, ma maggiore di altre celle a film sottile. Rispetto ad altre tecnologie, la loro efficienza è moderata.

I film sottili di tellururo di cadmio (CdTe) sono tecnologie emergenti nel settore delle celle a film sottile, essendo più convenienti rispetto ad altre tecnologie. Vengono prodotti su un substrato di vetro con ossido conduttore trasparente (TCO), generalmente costituito da materiale di ossido di stagno fluorurato (FTO). Il loro colore è riflettente, principalmente verde scuro o nero.

3.2.3. TERZA GENERAZIONE

Il principio della terza generazione è la fabbricazione di dispositivi ad alta efficienza utilizzando tecniche di deposizione di film sottili di seconda generazione, nonché nuove architetture di semiconduttori che coprono più livelli energetici o che possono utilizzare materiali nanostrutturati o organici.

3.3. CIGS

Precedentemente riservata ai tetti, l'integrazione della funzione fotovoltaica con le vetrate sembra essere la strada preferita dalle tecnologie fotovoltaiche a film sottile (celle fotovoltaiche di seconda generazione). Con i recenti e significativi progressi nel campo del CIGS, sono state attribuite alle celle fotovoltaiche diverse caratteristiche: alta efficienza fotovoltaica, stabilità delle prestazioni e un metodo di produzione industriale a basso costo.

3.3.1. COMPONENTI CIGS

Il substrato generalmente utilizzato è il vetro soda-calcico (o SLG). Deve essere isolante e stabile per resistere ai depositi successivi, oltre ad avere un coefficiente di espansione termica vicino a quello del CIGS, che limita la generazione di stress termici durante la produzione dei film. Il vetro ha il vantaggio di fornire spontaneamente il sodio necessario per le eccellenti prestazioni della cella.

Il contatto posteriore è costituito dal film di molibdeno, che viene depositato sul substrato di vetro con uno spessore di circa 500 nm mediante sputtering. Questo film ha la funzione di raccogliere i portatori e il molibdeno è il materiale più promettente per questa funzione perché, durante la crescita del CIGS, tra il Mo e il CIGS si forma uno strato interfaciale di MoSe_2 che costituisce un eccellente contatto ohmico. Inoltre, lo strato di Mo e la sua morfologia volumetrica consentono la migrazione del sodio verso l'assorbitore dal substrato di vetro.

Il materiale $\text{Cu}(\text{In}, \text{Ga})\text{Se}_2$ o CIGS è l'assorbitore della cella. La sua composizione chimica e le sue proprietà variano a seconda del tasso di sostituzione tra indio e gallio. Il CIGS

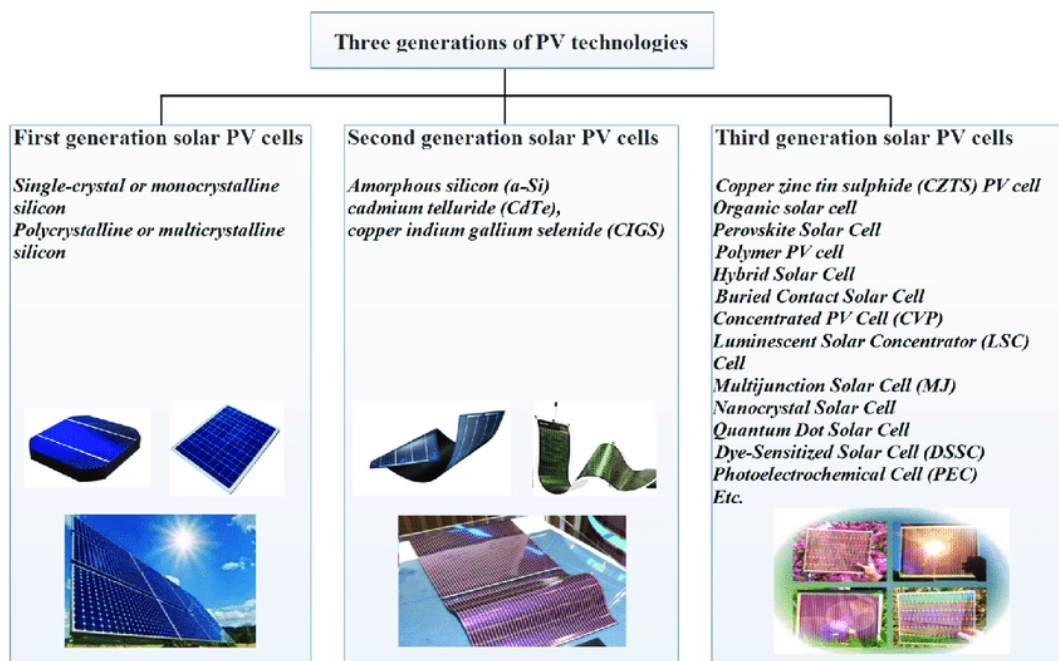


Figura VI.3.4. Schema delle tre generazioni di celle fotovoltaiche
Fonte immagine: Murdoch University Energy Research and Innovation Group

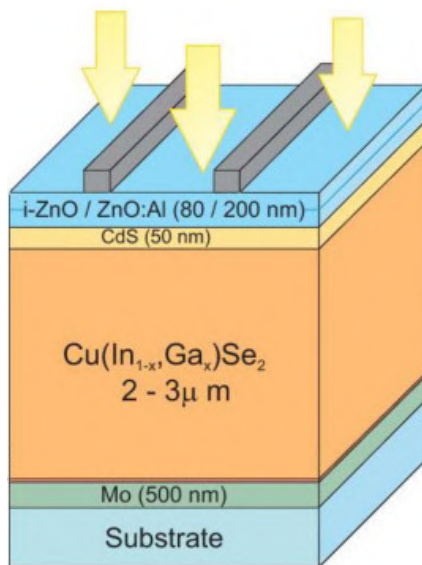
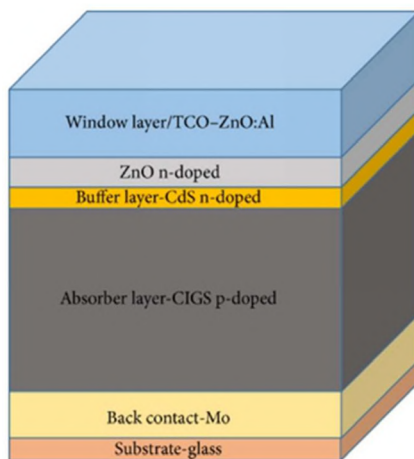


Figura VI.3.5. Rappresentazione dello stack standard di una cella solare CIGS

Fonte immagine: B. Salhi, *Photovoltaic Cell Based on CIGS: Principles and Technologies*

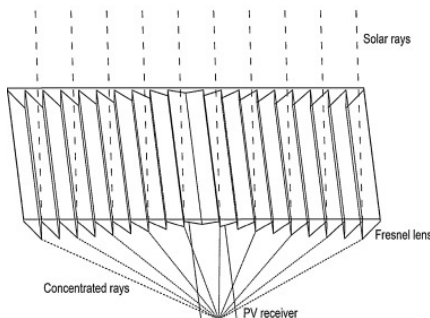


Figura VI.3.6. Sistema lineare di Fresnel

Fonte immagine: D. Chemisana, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*

è il semiconduttore più adatto ad assorbire la radiazione solare, con un elevato coefficiente di assorbimento, che ne consente l'uso in strati sottili, e un ampio spettro di assorbimento per spessori dell'ordine di 2 μm .

La limatura del CIGS può essere eseguita con diverse tecniche; le più utilizzate sono la co-evaporazione, lo sputtering con catodo magnetronico e l'elettrodeposizione. Le prime due tecniche di deposito sono processi che avvengono sottovuoto e lo sputtering in particolare è generalmente compatibile con la produzione industriale di massa di film sottili su un'ampia superficie.

Lo strato tampone è generalmente composto da solfuro di cadmio (CdS), che costituisce il semiconduttore di tipo n nell'eterogiunzione p-n formata tra il CIGS e il CdS, una giunzione che permette la separazione dei portatori di carica. Questo strato di CdS ha anche la proprietà di passivare i difetti superficiali dell'assorbitore e viene depositato solitamente con un bagno chimico. Poiché il cadmio è un elemento tossico, si stanno studiando altri materiali per sostituirlo.

Il ruolo dello strato finestra (elettrodo superiore) è quello di raccogliere i portatori. In genere è costituito da una pila di due materiali: ossido di zinco intrinseco e ossido di zinco additivato con alluminio, depositati mediante sputtering. L'ossido di zinco intrinseco (semiconduttore di tipo n) viene depositato con un piccolo spessore di circa 50 nm e la sua funzione è quella di limitare le perdite elettroniche. L'ossido di zinco additivato con alluminio (AZO), invece, è depositato con uno spessore maggiore (da 200 a 400 nm) e serve a raccogliere i portatori.

3.4. IMPIANTI FOTOVOLTAICI A CONCENTRAZIONE

Per l'integrazione degli edifici, i sistemi Concentrating Photovoltaic (CPV) possono offrire una serie di vantaggi rispetto ai tradizionali dispositivi a pannello piatto, il più notevole dei quali è una maggiore efficienza di conversione elettrica, oltre ad un migliore uso dello spazio, facilità di riciclaggio dei materiali costituenti, e riduzione dell'uso

di prodotti tossici coinvolti nel processo di produzione delle celle fotovoltaiche. L'integrabilità di un concentratore, riflettente o rifrangente, dipende dal suo fattore di concentrazione, C (definito come il rapporto tra l'area di apertura del concentratore primario e l'area delle cellule attive). I sistemi di concentrazione con $C > 2,5$ generalmente usano un sistema per tracciare il sole, mentre i sistemi con $C < 2,5$ possono essere statici. I sistemi a basso rapporto di concentrazione ($C < 10\times$) sono particolarmente interessanti perché hanno una geometria lineare e quindi un asse di movimentazione è sufficiente per un funzionamento efficiente.

3.4.1. SISTEMI AD ALTA CONCENTRAZIONE ($C > 100\times$)

I sistemi ad alta concentrazione richiedono una movimentazione a due assi con elevata precisione (tolleranze inferiori a $0,2^\circ$). L'integrabilità di un sistema di questo tipo sarà fortemente compromessa dal fatto che è mobile in due direzioni e dalle sue dimensioni che, anche se ridotte al minimo, sono notevoli, circa nell'ordine di $1,50\text{m} \times 1,50\text{m}$ per modulo. L'integrazione si ottiene meglio sul tetto dell'edificio (in particolare per i tetti piani), dove il sistema è invisibile dall'esterno. Questo gruppo è attualmente dominato dai sistemi Fresnel a fuoco puntiforme.

3.4.2. SISTEMI A MEDIA CONCENTRAZIONE ($10\times < C < 100\times$)

I sistemi a media concentrazione possono essere generalmente suddivisi in due gruppi: i trough parabolici e quelli che utilizzano ottiche Fresnel sotto forma di lenti o specchi. I concentratori che raggiungono l'estremo superiore di questa gamma di concentrazione ($60\text{-}85\times$) e che, a causa delle loro dimensioni, rendono impossibile l'integrazione negli edifici sono i dispositivi CSP (Concentrating Solar Power). In questo tipo di sistemi, diminuendo il rapporto di concentrazione, si facilita l'integrazione negli edifici.

PROBLEMATICHE

Un problema importante associato ai CPV lineari

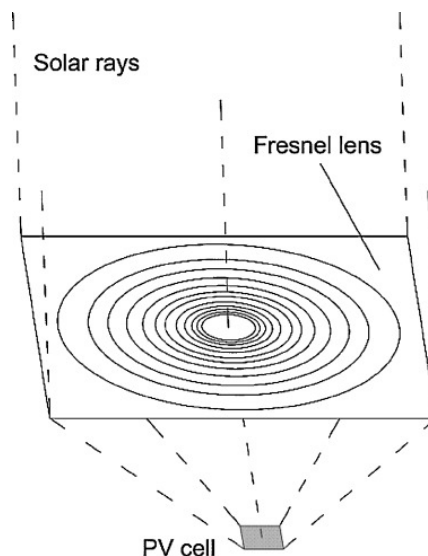


Figura VI.3.7. Sistema Fresnel a fuoco puntiforme

Fonte immagine: D. Chemisana, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*

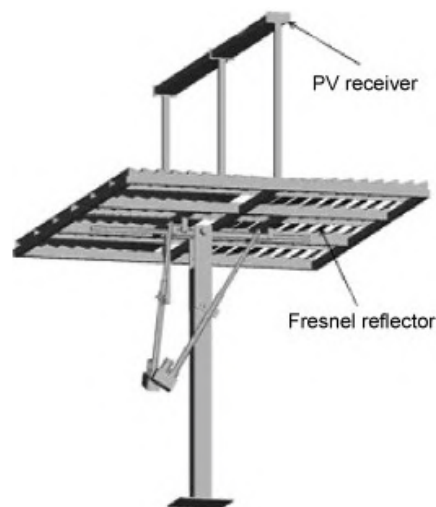


Figura VI.3.8. Riflettore di Fresnel a due assi di Bifres

Fonte immagine: D. Chemisana, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*

è il surriscaldamento prodotto dall'alta densità del flusso luminoso ricevuto dalle celle, la maggior parte del quale si trasforma in calore. I sistemi ad alta concentrazione utilizzano un sistema di raffreddamento passivo, facilitato dalle dimensioni ridotte della cella. Al contrario, nel caso dei sistemi a concentrazione lineare, il raffreddamento passivo è complicato a causa della maggiore superficie delle celle solari; ciò si traduce in dissipatori meno convenienti rispetto al caso delle celle isolate. Per i ricevitori solari che ricevono luce a concentrazione lineare, il mezzo di raffreddamento più adatto è la dissipazione attiva con l'uso di liquidi come i fluidi termoconduttori.

3.4.3. SISTEMI A BASSA CONCENTRAZIONE ($C < 10\times$)

L'uso di tali dispositivi, come per tutti i sistemi a bassa concentrazione, è vantaggioso in quanto è possibile utilizzare celle commerciali e ridurre il riscaldamento delle celle. Tuttavia, nonostante il basso flusso luminoso, le celle possono surriscaldarsi fino a raggiungere temperature superiori a 80 °C. Il funzionamento può essere migliorato dall'uso di un dissipatore termico ed i concentratori fluorescenti fanno parte di questa categoria.

3.5. CONCENTRATORI SOLARI LUMINESCENTI (LSC)

Anche se il settore Building Integrated Photovoltaic (BIPV) è in costante crescita, l'uso di moduli standard comporta vincoli: i componenti più efficienti sono opachi hanno bisogno di un'elevata disponibilità di irraggiamento solare diretto. Quando invece sono richiesti trasparenza e un uso più esteso delle radiazioni diffuse, i componenti LSC possono essere una buona alternativa al fotovoltaico tradizionale, mentre i concentratori solari convertono solo l'irradiazione solare diretta e richiedono un inseguimento-movimentazione di alta precisione. Questi semi-sistemi di vetri fotovoltaici trasparenti, che utilizzando guide d'onda semitrasparenti senza elettrodi, sono dispositivi solari che possono essere integrati 'invisibilmente' nell'architettura, preservando la trasparenza dell'involucro e assicurando così una produzione di energia e uno sfruttamento della luce negli spazi dell'edificio, oltre a essere economici e leggeri. L'interesse per l'LSC nasce dall'opportunità di ridurre la superficie fotovoltaica, che si trova solo sui bordi del componente, e i relativi costi e di migliorare l'illuminazione diurna degli spazi interni.

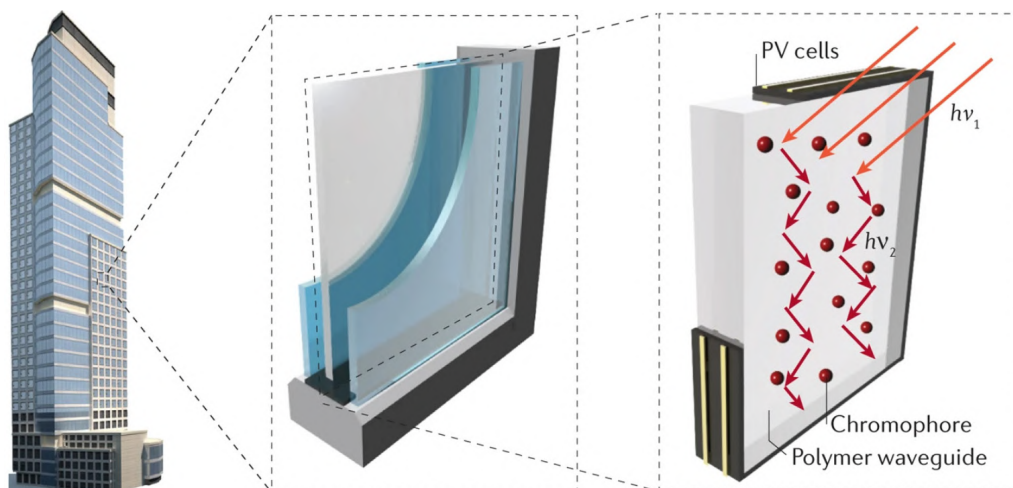


Figura VI.3.9. Finestre fotovoltaiche a concentrazione solare luminescenti
Fonte immagine: F. Meinardi, Nature Reviews Materials

La tecnologia è stata originariamente introdotta durante la crisi energetica degli anni '70. Nel 1976 Weber e Lambe proposero infatti una tecnica per concentrare la luce solare impiegando un LSC come alternativa economica alle celle solari al silicio. Ciò offriva la possibilità di sfruttare la radiazione solare utilizzando dispositivi di grandi dimensioni che richiedevano una quantità minima di materiale fotovoltaico. Pochi anni dopo, Batchelder et al. hanno fornito un'analisi teorica e sperimentale dettagliata della tecnologia LSC, nonché tecniche di caratterizzazione del LSC.

È importante sottolineare che per le applicazioni fotovoltaiche integrate nell'edificio (BIPV), le tecnologie LSC possono essere prodotte con una libertà di progettazione senza pari in termini di forma, trasparenza, colore e flessibilità. L'integrazione invisibile dei LSC negli ambienti urbani faciliterebbe l'accettazione da parte del pubblico e integrazione nel territorio dell'energia fotovoltaica, riducendo sostanzialmente a zero il cosiddetto costo del terreno per l'installazione fotovoltaica. Infine, poiché le celle fotovoltaiche perimetrali sono illuminate indirettamente dalla luminescenza proveniente dall'intera guida d'onda, gli LSC non sono sostanzialmente influenzati dalle perdite di efficienza e dalle tensioni elettriche causate dall'ombreggiamento del dispositivo che si verificano in PV sfusi e a film sottile.

3.5.1. COMPONENTI DEL SISTEMA E FUNZIONAMENTO

Il processo di concentrazione può essere compreso attraverso i principi dell'ottica geometrica classica, mentre la corretta descrizione fisica alla base del meccanismo di intrappolamento di un LSC si basa sui principi della meccanica quantistica che governano il processo di conversione spettrale molecolare. Gli LSC sono costituiti da lastre di materiali trasparenti (tipicamente PolyMethylAcrylate, PMMA), che agiscono come una guida d'onda, additivate con emettitori luminescenti (luminofori), il cui spettro di emissione è caratteristico e gli conferisce il suo colore distintivo.

La luce incidente su un pannello LSC può essere riflessa, trasmessa o assorbita. Quando le lastre sono esposte alla luce solare, i luminofori possono assorbire una parte di luce solare sia diretta che diffusa in ingresso, e la riemettono isotropicamente a una lunghezza d'onda più lunga (fenomeno di fluorescenza o downshifting spettrale), ovvero spostata verso il rosso, con un'elevata efficienza quantica (il rapporto tra fotoni emessi e quelli assorbiti dal colorante è indicato come il rendimento quantico) e in direzione casuale.

I fotoni emessi dal colorante in una direzione normale rispetto alle superfici dell'LSC hanno un'alta probabilità di uscire dal mezzo ospite; quando l'angolo di emissione aumenta nella direzione fuori dal normale, aumenta la probabilità che il fotone subisca riflettanza interna alle superfici LSC. L'emissione non intrappolata viene persa all'interno del "cono di fuga" identificato dall'angolo:

$$\Phi_n < \Phi_c = \frac{1}{\text{sen}(1/n)}$$

con n l'indice di rifrazione della matrice ospite. La luce emessa all'interno di un mezzo con indice di rifrazione superiore all'esterno (1.488 per il PMMA e circa 1 per l'aria) subisce riflessione interna totale (TIR) se viene emessa con un angolo maggiore rispetto all'angolo critico rispetto alla normale alla superficie. Questo fenomeno è utilizzato per guidare la luce intrappolata verso i lati della lastra dove viene raccolta dalle celle solari,

che convertono in energia elettrica la luce raccolta dalla lastra. Tuttavia, le perdite di energia possono accadere mentre questi fotoni si propagano verso i fianchi del LSC perché vi è una probabilità che possono essere assorbiti da altre molecole della tintura, o dalla matrice ospite.

L'energia dei fotoni emessi è leggermente superiore al band gap delle celle solari collegate, per garantire un'efficienza di conversione prossima all'unità. Le celle fotovoltaiche sono incollate sui bordi della lastra e protette da un telaio perimetrale; possono essere collegate sia in serie che in parallelo, secondo le specifiche esigenze di utilizzo. Poiché la superficie della lastra esposta alla luce solare è molto più grande della superficie dei suoi bordi, l'LSC aumenta efficacemente la densità fotonica incidente sulla cella fotovoltaica, che aumenta la sua fotocorrente, essendo la lastra di PMMA trasparente e le celle sono posizionate solo sui lati. Inoltre, facendo corrispondere la lunghezza d'onda di emissione dei cromofori attivi al picco spettrale dell'efficienza quantistica esterna (EQE), si può aumentare ulteriormente la potenza di uscita dei dispositivi fotovoltaici.

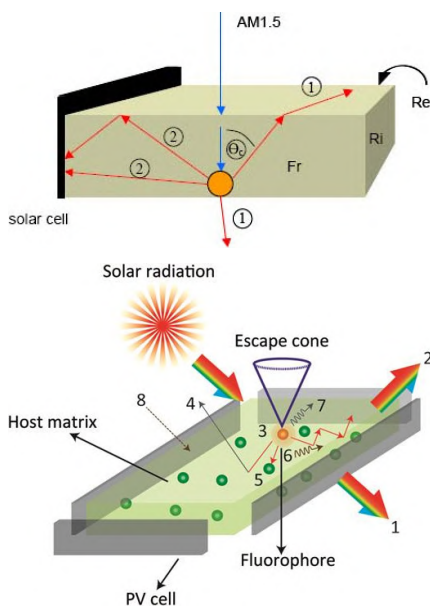


Figura VI.3.10. Meccanismo nel LSC
Fonte immagine: *Journal of Applied Physics* 131

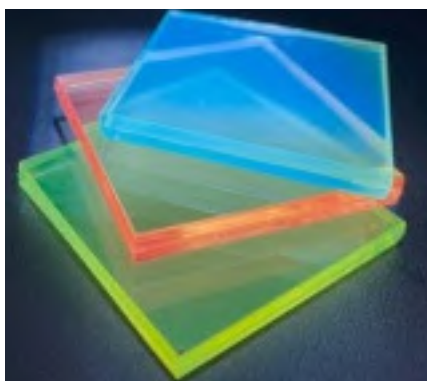


Figura VI.3.11. L-LSC a doppio strato con QD verdi e rossi
Fonte immagine: X. Liu, *Centre for Energy, Materials and Telecommunications*

La luce è incidente dall'alto e viene assorbita da una particella luminescente; la luminescenza della particella viene emessa in modo casuale. Parte dell'emissione cade all'interno del cono di fuga (determinato dall'angolo (θ_c)) e viene persa dal concentratore luminescente in superficie (1). L'altra parte della luminescenza viene guidata verso la cella solare dalla riflessione interna totale (2).

3.5.2. TIPOLOGIE DI LUMINOFORI

I luminofori occupano una posizione prominente nel downshifting dei fotoni solari e possono essere suddivisi in diverse modalità. In base ai loro meccanismi di fotoluminescenza, possono essere suddivisi in due categorie principali. Nei cromofori di tipo A, la fotoluminescenza si verifica dallo stato di assorbimento della luce e le perdite di riassorbimento sono mitigate dalla combinazione di uno spostamento di Stokes relativamente grande (la separazione tra il picco di assorbimento e di emissione) e bande di assorbimento e di emissione nitide, che si traduce in una ridotta sovrapposizione spettrale. Esempi di emettitori di tipo A sono i coloranti organici molecolari, come 4-dicianomethyl-6-dimethylaminostyryl-4H-pyran (DCM), Lumogen Red, CRS040 Yellow (dal colore radiante) e derivati del perylene.

Al contrario, nei cromofori di tipo B, i processi di assorbimento e di emissione sono disaccoppiati. La raccolta della luce avviene in uno stato con un grande coefficiente di assorbimento della banda larga (α_1), mentre l'emissione avviene da un se-

condo stato con un coefficiente di assorbimento trascurabile (α_2) risonante con la banda di emissione; le perdite di riassorbimento sono efficacemente sopresse per $\alpha_1 \gg \alpha_2$. I primi cromofori di tipo B erano complessi organici di ioni lantanidi, come l'eurobio o l'itterbio; in questi cromofori, i leganti raccolgono la luce solare e sensibilizzano la fotoluminescenza degli ioni delle terre rare. Lo svantaggio di queste strutture è che non è possibile regolare la transizione atomica del lantanide, che impone una limitazione rigorosa sulla copertura spettrale ottenibile. Più recentemente, i progressi nella chimica colloidale hanno permesso la realizzazione di nucleo/guscio etero-nanocristalli, in cui la luminescenza dal nucleo è sensibilizzato da un guscio composto da un materiale con un più ampio divario di energia che agisce come una luce-raccolta antenna per la radiazione solare. Tuttavia, per i gusci sempre più grandi, la diffusione della luce aumenta, introducendo un'ulteriore fonte di perdite.

Sono stati inoltre dimostrati LSC ad alta efficienza utilizzando nanocristalli di silicio con bandgap indiretto, che hanno anche una composizione non tossica e non possono essere classificate inequivocabilmente come cromofori di tipo A o di tipo B, perché la loro luminescenza si verifica dallo stato assorbente, come nei cromofori di tipo A, ma il loro spostamento di Stokes è strettamente zero, come nei cromofori di tipo B.

In base invece alla loro capacità di assorbimento dello spettro solare, esistono in letteratura due gruppi distinti: full-spectrum e trasparente. I cromofori a spettro completo (full-spectrum) sono progettati per assorbire la maggior parte dello spettro solare in modo da ottenere la massima produzione di energia possibile, e tipicamente producono LSC marrone-grigio con un assorbimento considerevole (> 50% attraverso la gamma spettrale UV-vis). Questi dispositivi sono attualmente principalmente basati su nanocristalli semiconduttori colloidali che consentono l'assorbimento continuo attraverso lo spettro solare visibile e vicino infrarosso e l'efficiente luminescenza Stokes-shifted che corrisponde alla risposta di picco delle celle solari in silicio.

Gli LSC trasparenti non sono competitivi con i dispositivi a spettro completo in termini di efficienza

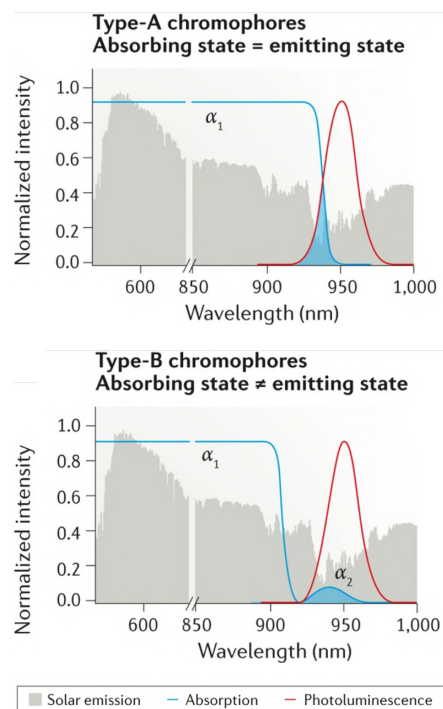
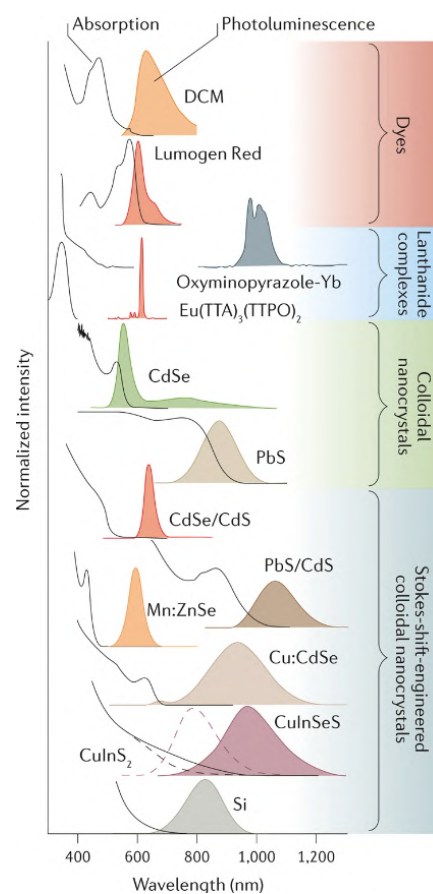


Figura VI.3.12. Tipi di cromofori LSC e copertura spettrale ottenibile
Fonte immagine: F. Meinardi, Luminescent solar concentrators for building-integrated photovoltaics

di conversione di potenza assoluta, ma offrono il vantaggio unico di non assorbire la luce solare visibile, che può diventare il fattore determinante per le applicazioni BIPV quando sono presenti vincoli estetici o di fruizione particolarmente severi. Gli LSC trasparenti possono essere realizzati impiegando emettitori con assorbimento selettivo nelle regioni UV, NIR o in entrambe le regioni spettrali. Esempi rappresentativi sono i chelati di lantanidi assorbenti i raggi UV, i punti quantici a banda larga e i cicloparafenili (nCPPs), questi ultimi i più grandi materiali organici assorbenti i raggi UV di Stokes-shift finora impiegati nei LSC.

COLORANTI ORGANICI

Le caratteristiche importanti dei coloranti organici sono le seguenti:

- possono fornire un'efficienza quantica di luminescenza (LQE) estremamente elevata, prossima all'unità;
- sono disponibili in un'ampia gamma di colori;
- sono ora disponibili nuove specie molecolari con migliori proprietà di riassorbimento che possono anche fornire la necessaria stabilità UV.

PUNTI QUANTICI

I punti quantici (QD) presentano vantaggi rispetto ai coloranti in quanto:

- i loro spettri di assorbimento sono molto più ampi e si estendono nell'UV;
- le loro proprietà di assorbimento possono essere regolate semplicemente scegliendo la dimensione dei nanocristalli;
- sono intrinsecamente più stabili dei coloranti organici;
- il red-shift tra assorbimento e luminescenza è quantitativamente correlato alla diffusione delle dimensioni dei QD, che possono essere determinate durante il processo di crescita, fornendo un'ulteriore strategia per ridurre al minimo le perdite dovute al riassorbimento

Tuttavia, ad oggi i QD possono fornire solo un LQE ragionevole: un LQE > 0,8 è stato riportato per i QD core-shell. La cosa più importante, per la realizzazione di LSC efficienti per grandi aree, è la separazione energetica tra gli spettri di assorbimento ed emissione dei punti quantici, comunemente quantificati in termini di spostamento di Stokes, che può essere ingegnerizzata attraverso varie strategie di progettazione dei materiali.

I punti quantici colloidali sono materiali promettenti per i concentratori solari luminescenti in quanto possono essere progettati per fornire il grande spostamento di Stokes necessario per sopprimere le perdite di riassorbimento in dispositivi di grandi dimensioni. I punti quantici di Stokes-shift permettono solo una copertura parziale dello spettro solare, che limita la loro capacità di raccogliere la luce e porta alla colorazione dei concentratori solari luminescenti, complicandone l'uso in architettura. Essi caratterizzano un ampio spettro di assorbimento che può essere sintonizzato per raccogliere la radiazione solare attraverso l'intero spettro visibile ed all'infrarosso vicino (NIR) e la loro luminescenza può essere regolata in base alla risposta di picco dei dispositivi fotovoltaici.

Un concetto convincente di progettazione dei materiali per ottenere LSC privi di riassorbimento che deve ancora essere esplorato è l'uso di punti quantici di semiconduttori a bandgap indiretto come il silicio. L'assorbimento ottico e gli spettri di fotoluminescenza

dei punti di quantum di Si possono essere sintonizzati dal visibile alla regione spettrale di NIR tramite controllo della dimensione delle particelle (effetto di confinamento di quantum) e la loro efficienza di emissione può essere aumentata a > 50% attraverso adeguate strategie di passivazione superficiale.

Per questi motivi, i punti di quantum di Si sono considerati candidati interessanti per i biomarcatori non tossici e per le sorgenti luminose a stato solido redditizie. È importante sottolineare che per le applicazioni LSC, il bordo di assorbimento dei punti quantici Si mantiene il coefficiente di assorbimento molto piccolo tipico dei semiconduttori a band-gap indiretto, e questo si traduce in una sovrapposizione trascurabile tra i profili di assorbimento e di emissione e conseguentemente, soppressione efficace della capacità di riassorbimento dei punti quantici Si. Un'altra caratteristica dei punti quantici Si che potrebbero supportare l'uso diffuso della tecnologia LSC è che il silicio è l'elemento più abbondante sulla crosta terrestre. L'ineguagliabile disponibilità di queste materie prime potrebbe quindi aiutare a evitare i problemi che influenzano l'applicabilità di altri tipi esistenti di punti quantistici ingegnerizzati Stokes-shift alla fabbricazione su larga scala di LSC.

La capacità di riassorbimento soppressa dei punti quantici Si, insieme alla loro elevata compatibilità con le matrici polimeriche, consente di ottenere dispositivi LSC quasi ideali, privi di riassorbimento e dispersione; queste considerazioni sono validate da simulazioni numeriche effettuate a di Monte Carlo, indicano che questi LSC possono essere scalati fino a dimensioni maggiori senza incorrere in drammatiche perdite ottiche dovute al riassorbimento della luminescenza guidata.

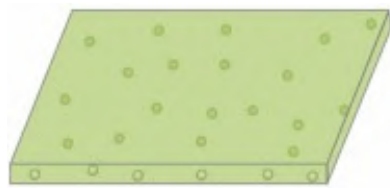
Infine, prototipi LSC flessibili dimostrano la fattibilità di elementi architettonici PV-attivi con curvatura complessa, estendendo così ulteriormente il potenziale per l'integrazione di edifici LSC, che potrebbe essere realizzato con perdite minime in termini di produzione annua di energia elettrica fotovoltaica rispetto a un dispositivo piano orizzontale.

3.5.3. GUIDA D'ONDA

La guida d'onda è un altro componente chiave nei LSC, in quanto viene utilizzata come materiale ospite per incorporare i luminofori.

In generale, un buon materiale guida d'onda dovrebbe avere un'elevata trasparenza per consentire alla luce solare di passare attraverso e raggiungere lo strato di luminofori; un alto indice di rifrazione è anche cruciale per intrappolare quanti più fotoni emessi possibile all'interno delle guide d'onda, diminuendo le perdite di energia dal cono di fuga. L'indice di rifrazione del substrato dovrebbe essere il più vicino possibile a quello dell'intercalare per evitare la riflessione all'interfaccia, che potrebbe portare a maggiori perdite di riassorbimento.

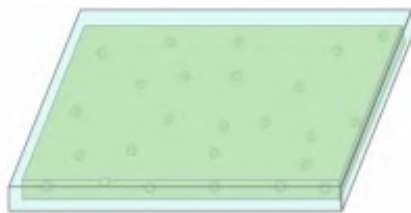
I polimeri economici, come il poli(metacrilato di metile) (PMMA), il poli(metacrilato di laurile) (PLMA), sono stati ampiamente sfruttati per le applicazioni LSC grazie alla loro eccellente trasparenza, agli alti indici di rifrazione e alla buona compatibilità con i luminofori.



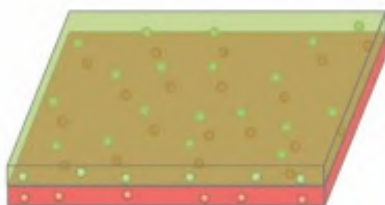
Full polymer



Top-coated thin film



Liquid



Tandem



Laminated

3.5.4. TIPOLOGIE DI LSC PLANARI

Sulla base dei vari materiali di guida d'onda, in generale, sono stati sviluppati cinque tipi di configurazioni per LSC planari.

LSC POLIMERICI COMPLETI

I LSC polimerici completi sono prodotti in stampi prefabbricati fondendo la soluzione polimerica contenente i luminofori; la soluzione può poi essere polimerizzata nella fase solida facendo uso di UV-luce. Questo processo di polimerizzazione può avere un effetto dannoso sui punti quantici (es. spegnimento delle emissioni QD).

LSC A FILM SOTTILE CON RIVESTIMENTO SUPERIORE

Le LSC a film sottile con rivestimento superiore sono formate da film sottili di polimeri su substrati (ad es. vetro commerciale/piastra acrilica). Questa struttura permette la facile fabbricazione di LSC di grandi aree.

LSC LIQUIDI

Per evitare l'estinzione delle emissioni di QD dal processo di polimerizzazione, LSC liquidi sono stati sviluppati sostituendo i polimeri con un mezzo liquido.

LSC TANDEM

I LSTC tandem sono solitamente formati da due o più polimeri completi e/o LSC a film sottile con rivestimento superiore per estendere la banda di assorbimento dei dispositivi e per migliorare l'efficienza dei dispositivi.

LSC LAMINATI

Gli LSC laminati (L-LSC) sono fabbricati in strutture laminate simili a sandwich, dove lo strato intermedio emissivo polimerico è inserito tra due guide d'onda otticamente chiare; lo spessore complessivo favorevole è di 5 mm per ridurre gli effetti di riassorbimento.

L-LSC con struttura multistrato potrebbe rappresentare una delle configurazioni LSC più promet-

Figura VI.3.13. Schema delle cinque tipologie di LSC planari
Fonte immagine: X. Liu, Centre for Energy, Materials and Telecommunications

tenti e pratiche per il BIPV, in quanto si basano sulla simile architettura delle finestre a doppio vetro. A livello ambientale, L-LSC consentono una riduzione della quantità di materiali polimerici misti QD non cicatrizzabili necessari, riducendo così l'impatto ambientale del dispositivo.

3.5.5. PROBLEMATICHE E OTTIMIZZAZIONE DEL SISTEMA

PERDITE DI FUGA E UTILIZZO DI SPECCHI

Le perdite del cono di fuga, le perdite di assorbimento nel materiale ospite e il riassorbimento limitano l'efficienza del concentratore luminescente e i modelli termodinamici consentono di studiare quantitativamente le specie luminescenti, le densità di additivi e le geometrie che minimizzano questi meccanismi di perdita. Questi dispositivi a grande area indicano l'importanza delle perdite sulla superficie superiore che si verificano attraverso il cono di fuga sia attraverso l'emissione primaria sia attraverso l'emissione di luminescenza che è stata riassorbita e che altrimenti sarebbe stata intrappolata attraverso la riflessione interna totale.

Per ridurre le perdite di fuga dall'alto, possono essere utilizzati speciali specchi superiori che trasmettono la luce nell'intervallo di assorbimento del colorante e riflettono la luce nell'intervallo di emissione, i cosiddetti specchi selettivi di lunghezza d'onda. Lo specchio deve essere trasparente nella regione di assorbimento del colorante e altamente riflettente in quella di emissione. Un modo per realizzare uno specchio di questo tipo è l'applicazione di strati a cristalli liquidi (LSC) chirali nematici (colesterici) selettivamente riflettenti. Questi rivestimenti colesterici conici focali sono trasparenti alla luce in entrata ma riflettono la luce emessa.

Inoltre, senza uno specchio laterale, i raggi all'interno del cono di fuga escono dall'LSC lateralmente, mentre i raggi al di fuori del cono di fuga sono soggetti a riflessione interna totale.

Applicando uno specchio inferiore diretto, la luminescenza emessa in modo casuale sarà riflessa specularmente e rimarrà quindi orientata in modo casuale. Di conseguenza, parte dell'emissione si rifletterà sul retro e sfuggirà dal lato superiore, se emessa all'interno del cono di fuga. Per i raggi invece esterni al cono di fuga, ciò comporta una riduzione

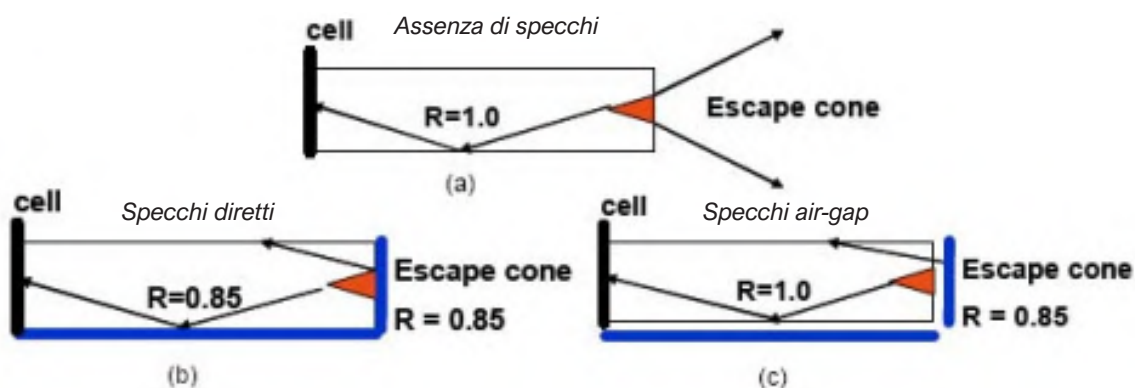


Figura VI.3.14. Configurazioni di specchi utilizzate nella simulazione di ray-tracing
Fonte immagine: K. Barnham, Luminescent Solar Concentrators

della riflessione e quindi una minore efficienza di conversione di potenza. Per questo motivo, le prestazioni di uno specchio inferiore a riflessione speculare diretta sono inferiori a quelle di uno specchio a diffusione air-gap, che invece combina la riflessione interna totale con la riflessione dei raggi in uscita.

PERDITE DI RIASSORBIMENTO

I cromofori di tipo A e di tipo B riducono le perdite di riassorbimento attraverso meccanismi diversi ed un confronto adeguato della capacità di riassorbimento può essere fatto solo per coperture spettrali uguali.

Infatti, il raggiungimento della copertura spettrale desiderata richiede diverse concentrazioni di cromofori con diversi gap energetici: è necessaria una maggiore concentrazione di emettitori wide-energy-gap per raggiungere la copertura spettrale di sistemi low-gap con lo stesso coefficiente di assorbimento di picco. Di conseguenza, per una data copertura spettrale, il riassorbimento è più debole in un LSC con cromofori a basso gap energetico diluiti rispetto a un dispositivo identico con un'alta concentrazione di emettitori wide-energy-gap. Ad esempio, confrontando gli spettri di fotoluminescenza intrinseca dei nanocristalli Lumogen Red (tipo A) e colloidali CuInSeS (tipo B), si nota che per Lumogen Red raggiungere una copertura spettrale del 30% richiede un'alta concentrazione di cromofori nella guida d'onda, che si traduce in una sovrapposizione molto ampia tra la coda di assorbimento a bassa energia e la porzione ad alta energia dello spettro di fotoluminescenza. Ciò porta a un forte riassorbimento in campioni di piccole dimensioni. A causa del confine di assorbimento relativamente tagliente, l'effetto si satura completamente in LSC più grandi.

Il comportamento di LSCs che incorpora invece i nanocrystals di CuInSeS è differente. Il piccolo gap energetico nella regione del vicino infrarosso e l'emissione di tipo B consente il raggiungimento della copertura spettrale di Lumogen Red con una sovrapposizione spettrale molto più piccola tra i profili di assorbimento e di emissione. Di conseguenza, anche nel più grande LSC, la ri-radiazione rappresenta meno del 40% dei fotoni raccolti. Tuttavia, a differenza di Lumogen Red, la sovrapposizione spettrale residua dovuta alla coda di assorbimento regolare dei nanocristalli CuInSeS provoca il progressivo riassorbimento della luminescenza propagante con dimensioni del dispositivo crescenti.

COPERTURA SPETTRALE

Per massimizzare la potenza di un LSC, è necessario raccogliere la più grande frazione possibile dello spettro solare. Nei composti organometallici, la copertura spettrale limitata è dovuta al meccanismo di trasferimento di energia multi-step dal ligando all'elemento delle terre rare, che coinvolge molteplici processi di termalizzazione.

Nei coloranti organici, la limitazione deriva invece dalla difficoltà intrinseca di spostare lo spettro di assorbimento nel vicino infrarosso estendendo la lunghezza di coniugazione. Un aumento della lunghezza di coniugazione infatti porta tipicamente ad una progressiva diminuzione della solubilità del colorante e riduce la forza dell'oscillatore, riducendo così l'efficienza di emissione.

Di conseguenza, per i coloranti e i complessi organometallici, è difficile ottenere una copertura spettrale superiore al 50% dell'energia solare totale. Il problema della copertura spettrale è stato risolto con l'introduzione di nanocristalli colloidali di semiconduttori a

gap stretto, che consentono l'estensione della copertura spettrale al vicino infrarosso e, in alcuni casi (ad esempio, per PbSe e CuInSeS), supera potenzialmente la capacità di raccolta delle celle solari in silicio cristallino, richiedendo quindi l'uso di celle non convenzionali per la conversione ottica-elettrica dell'energia raccolta.

COLORE DEI PANNELLI LSC

Un altro problema critico che è direttamente collegato alla copertura spettrale delle applicazioni BIPV su larga scala è il colore dei pannelli LSC, che determina in definitiva l'integrabilità architettonica del sistema LSC. Il colore dipende sia dal tipo di luminoforo incorporato nella guida d'onda che dalla sua quantità.

Una caratteristica comune è la forte colorazione gialla o rossa dei LSC che incorporano luminiferi con una copertura spettrale inferiore al 50%, il che è dannoso per l'uso di questi LSC nei sistemi di vetratura fotovoltaici. Questa forte colorazione riduce notevolmente l'indice di resa cromatica (la capacità di una sorgente luminosa di rivelare fedelmente il colore reale degli oggetti) della luce solare trasmessa e modifica la percezione cromatica da interno a esterno, con un effetto analogo al daltonismo indotto artificialmente (vedi sezione 5.9). Tuttavia, i dispositivi colorati possono essere adatti per alcune applicazioni speciali, come barriere antirumore, rivestimenti per edifici o elementi architettonici artistici.

I complessi lantanidi producono dispositivi trasparenti perché il loro confine di assorbimento è nella regione spettrale ultravioletta; un comportamento simile è osservato in cluster di alogenuri metallici con grandi spostamenti di Stokes. Tuttavia, questa finestra di trasparenza che copre l'intero spettro visibile impone un limite intrinseco e molto basso alla copertura spettrale massima raggiungibile e, di conseguenza, all'efficienza LSC. Al contrario, i cromofori con coperture spettrali più grandi consentono finestre solari incolori che riducono l'intensità della luce solare che entra in un edificio senza alterarne il colore e sono quindi ideali per le applicazioni BIPV.

EFFICIENZA OTTICA

I diversi meccanismi di propagazione della luce nei LCS che incorporano i cromofori di tipo A o di tipo B hanno importanti conseguenze sull'evoluzione dell'efficienza ottica (η) con dimensioni del dispositivo crescenti. L'efficienza di conversione ottica (η_{opt}) è definita come il rapporto tra la potenza ottica in uscita (P_{out}) dai bordi degli LSC e la potenza ottica incidente (P_{in}) sulla superficie dell'LSC.

$$\eta_{opt} = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{I_{sc}^L \cdot V_0^L \cdot A_e \cdot \eta_{solar}}{I_{sc} \cdot V_0 \cdot A_s \cdot \eta_{PV}}$$

La dipendenza di η dalla dimensione LSC è notevolmente diversa in LSC incorporando cromofori di tipo B, i quali mostrano sistematicamente una maggiore efficienza ottica iniziale rispetto a Lumogen Red (tipo A), a causa del minore riassorbimento a copertura spettrale comparabile e la diminuzione graduale continua in η con l'aumento della dimensione del dispositivo. Lo stesso comportamento si osserva per i nanocristalli di silicio.

STRATEGIE PER MASSIMIZZARE L'EFFICIENZA

Per massimizzare l'efficienza degli LSC con emettitori di tipo A, è fondamentale affilare il confine di assorbimento e aumentare lo spostamento di Stokes per ridurre la risonanza spettrale responsabile delle perdite ottiche a breve distanza. Per i coloranti organici, ciò potrebbe essere ottenuto riducendo il disturbo vibrazionale nelle strutture rigide, consentendo contemporaneamente una distorsione molecolare sufficiente nello stato eccitato.

Poiché la maggior parte dei fotoni in uscita sono prodotti da più processi di ri-missione, è anche importante che i cromofori di tipo A mostrino un'efficienza di emissione il più vicino possibile all'unità. In caso contrario, le perdite di decadimento cumulative non radiative sopprimono completamente la probabilità di uscita, anche per LSC relativamente piccoli.

D'altra parte, l'ottimizzazione dell'efficienza dei LSC a grande area basati sui cromofori di tipo B richiede la soppressione della sovrapposizione spettrale. A causa del più debole verificarsi di eventi di riassorbimento e ri-radiazione, buone prestazioni del dispositivo possono essere ottenute anche con cromofori di tipo B con rese quantiche di fotoluminescenza non unitarie, come dimostrato dall'elevata potenza ottica sperimentalmente osservata in CuInSeS o nei nanocristalli di silicio, che presentavano un'efficienza di fotoluminescenza del 50%. Tuttavia, l'ottimizzazione dell'efficienza di emissione è fondamentale per massimizzare η .

Le efficienze ottiche mostrano, per tutti i cromofori e le dimensioni del dispositivo considerati, potenze di uscita superiori a 100 W/m^2 , che possono essere ulteriormente aumentate abbassando la trasparenza LSC e/o ottimizzando la geometria del dispositivo in funzione dell'emettitore impiegato. Anche considerando ulteriori perdite nella conversione ottica-elettrica, ciò significa che con i cromofori di recente sviluppo, il riassorbimento non è più il principale fattore che ostacola una diffusione diffusa della tecnologia LSC.

PROBLEMI DI STABILITÀ A LUNGO TERMINE

La stabilità a lungo termine delle LSC rispetto alle influenze ambientali è un'altra questione molto importante, poiché la loro vita utile prevista è solitamente fissata ad almeno diversi anni. Questa richiesta si riferisce ai luminofori e al materiale della matrice polimerica. I polimeri acrilici possono essere resi molto stabili nei confronti dell'ambiente, mentre i componenti luminescenti dell'LSC costituiscono il problema principale.

In particolare, i tassi di degradazione dei coloranti organici in una matrice polimerica dipendono fortemente dai componenti minori che possono essere presenti nel LSC, ad esempio residui di monomero, stabilizzatori, iniziatori e altri additivi. Per questo motivo sono state riscontrate stabilità molto diverse per un certo numero di coloranti incorporati in varie lastre polimeriche (realizzate per polimerizzazione) o in rivestimenti realizzati per colata.

OTTIMIZZAZIONE DELLA GUIDA D'ONDA

Un altro aspetto importante da considerare per ottimizzare le prestazioni dei LSC per applicazioni BIPV è la scelta del materiale guida d'onda, che potrebbe determinare le perdite ottiche rilevanti in dispositivi di grandi dimensioni assorbendo la luminescenza di propagazione.

Il ruolo del materiale guida d'onda nel processo di propagazione ottica è stato a lungo trascurato a causa dell'effetto dominante del riassorbimento da parte dei cromofori tradizionali, che porta a gravi perdite ottiche anche per brevi distanze ottiche. La soppressione delle perdite di riassorbimento nei LSC che incorporano nanocristalli colloidali con spostamento Stokes ingegnerizzato sopra descritto ha recentemente permesso la fabbricazione di LSC di dimensioni maggiori, dove l'assorbimento della luce da parte della guida d'onda ottica non può più essere trascurato.

Per evidenziare le differenze tra i vari materiali per le guide d'onda LSC, è possibile confrontare il coefficiente di assorbimento delle matrici plastiche PMMA, il suo analogo fluorurato utilizzato nelle fibre ottiche di plastica a bassa perdita, e di vetri inorganici che potrebbero essere utilizzati come substrati in LSC a film sottile.

In particolare, sebbene tutti questi materiali siano comunemente considerati trasparenti, le loro sezioni trasversali di assorbimento nella regione spettrale 800-1.100 nm - la regione rilevante per le LSC dotate di celle solari al silicio - differiscono per ordini di grandezza. Tali grandi differenze tra i coefficienti di assorbimento della matrice hanno effetti profondi sulla prestazione della concentrazione solare.

Il vetro standard come materiale guida d'onda per LSC di grandi dimensioni è inadeguato, in quanto il suo assorbimento della luminescenza di propagazione riduce la probabilità di uscita di oltre l'80% in poche decine di centimetri. Il PMMA convenzionale ha una trasparenza notevolmente maggiore, ma la sua fluorizzazione (almeno parziale) è altamente raccomandata per ridurre le perdite ottiche nei dispositivi di grandi dimensioni. Invece, il vetro completamente fluorurato PMMA produrrebbe le migliori prestazioni LSC. Ad oggi, questi materiali sono utilizzati in piccole quantità in tecnologie ottiche di prim'ordine, ma sono troppo costosi per il loro uso diffuso in BIPV.

EFFICIENZA QUANTISTICA

L'efficienza quantistica è un parametro importante per valutare genericamente le prestazioni e la qualità di una cella solare; le due declinazioni di questo parametro sono l'efficienza quantistica esterna (EQE) e l'efficienza quantistica interna (IQE).

EQE misura il rapporto tra elettroni raccolti e fotoni incidenti, in funzione della lunghezza d'onda della luce incidente monocromatica. Allo stesso modo, IQE è il rapporto tra elettroni raccolti e fotoni assorbiti in funzione della lunghezza d'onda. I due parametri sono collegati dalla capacità di assorbimento della luce o dall'efficienza di raccolta della luce (LHE) del materiale assorbente in funzione della lunghezza d'onda.

3.5.6. PRODUZIONE DI ENERGIA

I LSC hanno dimostrato la capacità di sfruttare efficacemente l'energia in condizioni di illuminazione diffusa, consentendo al contempo flessibilità strutturale e architettonica rispetto ai pannelli solari. Tuttavia, è assente un approccio standard per valutare la loro produzione di energia in quanto i LSC hanno prestazioni fondamentalmente diverse rispetto ai tipici pannelli solari.

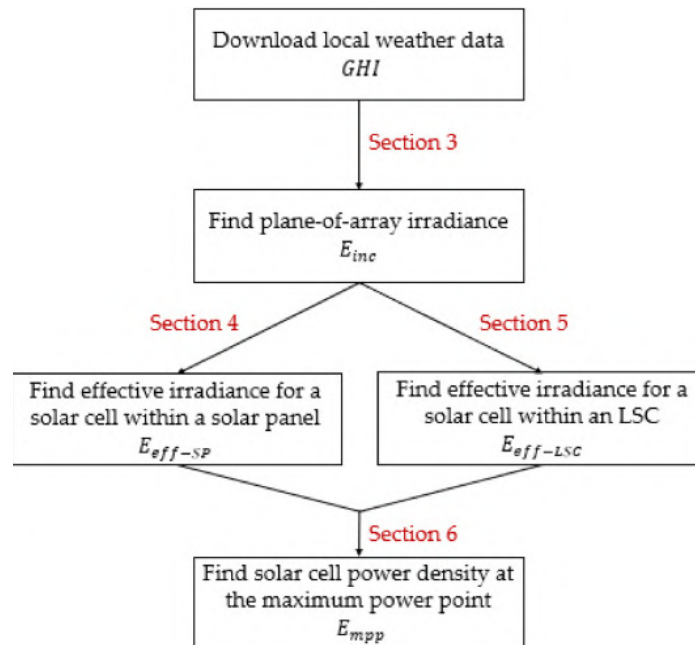


Figura VI.3.15. Schema generale della procedura per determinare E_{mpp}
Fonte immagine: D. Smith, Renewable Energy V.186

È stato però presentato un primo approccio unificante per generare stime energetiche per soluzioni BIPV basate su concentratori (compresi gli LSC) che parallelizza i processi convenzionali per la modellazione dell'energia prodotta da pannelli solari orari. Il modello di stima dell'energia proposto incorpora le varie interazioni LSC-fotone con l'uso di soli due parametri principali:

- l'efficienza ottica di LSC, η_{oe} (rapporto tra potenza incidente sulla superficie esposta rispetto alle celle solari);
- il fattore di disallineamento spettrale dell'LSC, M (incorpora differenze spettrali dovute alle interazioni LSC-fotone).

Il processo per trovare l'irradianza del piano di distribuzione, E_{inc} , incorpora la luce solare diretta (E_{beam}), diffusa (E_{diff}) e riflessa dal suolo (E_{grnd}). Successivamente si determina l'incidente di irradianza efficace sulle celle solari all'interno di un pannello solare, E_{eff-SP} , contabilizzando le perdite dovute alla copertura di un pannello, e incorporando differenze spettrali a causa del contenuto atmosferico. Similmente si determina l'incidente efficace dell'irradianza sulle celle solari all'interno di un LSC, $E_{eff-LSC}$, contabilizzando le perdite ottiche di LSC ed incorporando le differenze spettrali dovute dall'emissione luminescente all'interno del LSC. Viene quindi delineato il processo per determinare la densità di energia delle celle solari al punto di massima potenza (MPP), E_{mpp} , per le celle solari all'interno di pannelli solari e LSC, utilizzando modelli di circuito equivalenti.

CONFRONTO TRA PANNELLI SOLARI E LSC

I pannelli solari convenzionali sono caratterizzati in condizioni di test standard (STC) che assicurano che tutti i pannelli solari siano valutati sotto insolazione normale utilizzando uno spettro solare simulato per arrivare a un valore di potenza nominale (o di riferimento) per l'elettricità prodotta, $P_o(W)$. Ciò conduce all'efficienza di conversione di potenza, η_{pce} , che è il rapporto tra potenza elettrica generata e potenza radiante normale, $P_{ref} [W]$, a STC.

Nella maggior parte degli studi riportati in letteratura, le prestazioni LSC sono caratterizzate in modo simile alle prestazioni dei pannelli solari, spesso utilizzando η_{pce} per confronto in assenza di modificatori.

Tuttavia, rispetto ai pannelli solari, le prestazioni di LSC sono particolarmente eterogenee anche quando le differenze spettrali sono messe da parte. Poiché le prestazioni LSC si basano sulla riflessione interna totale, la produzione di energia è spesso fortemente dipendente dall'angolo critico θ_i in modo irregolare e sulle condizioni di illuminazione incidente (diffusa o diretta). In questo modo, mentre è adeguato per i pannelli solari, η_{pce} non è adatto se preso da solo come una metrica comparativa per LSC.

Di conseguenza, η_{pce} per un LSC è spesso dato insieme a un guadagno geometrico GG, che descrive la proporzione di area di cella solare all'interno di un LSC rispetto alla zona della faccia (s) direttamente esposti alla luce solare.

$$GG = \frac{A_{inc}}{A_{cell}}$$

Dove:

- A_{inc} è l'area di irradiazione solare incidente, nota anche come area di apertura A_{LSC} ; (cm^2);
- A_{cell} è l'area di raccolta della luce, generalmente il bordo dell'LSC (cm^2).

EFFICIENZA DI CONVERSIONE DI POTENZA

Il termine efficienza di conversione della potenza (η_{pce} o PCE) può essere quindi usato per esprimere la potenza generata dai dispositivi LSC-PV attraverso le celle fotovoltaiche collegate.

$$PCE = \frac{P_{PV}}{P_{in}} = \frac{V_{OC} \cdot I_{SC} \cdot FF}{P_0 \cdot A_{active}} = \frac{V_{OC} \cdot J_{SC} \cdot FF}{P_0}$$

Dove:

- P_{out} è la potenza elettrica generata (W);
- P_{in} è la potenza ottica incidente (W);
- P_0 è la densità di potenza incidente ($mW \times cm^{-2}$);
- V_{OC} è la tensione a circuito aperto (V);
- I_{SC} è la corrente di cortocircuito (mA);
- A_{active} è l'area attiva del dispositivo, ovvero la superficie frontale della guida di luce, A_{LSC} , nota anche come area di apertura (cm^2);
- F_F è il fattore di riempimento;
- J_{SC} la densità di corrente di cortocircuito ($mA \times cm^{-2}$).

η_{pce} e GG sono anche caratterizzati sotto uno spettro simulato, ma come spesso è studiato in letteratura, il LSC può rispondere in modo diverso a spettri incidenti variabili rispetto ai pannelli solari. Per superare le sfide associate a fare affidamento solo su η_{pce} e GG, la comunità di ricerca ha invece iniziato a esplorare le prestazioni LSC in funzione della produzione complessiva di energia (kWh).

GUADAGNO ELETTRICO

Il guadagno elettrico (γ_p) di una singola cella dell'LSC è definito come il rapporto tra la potenza di uscita ideale della cella e quella di una cella fotovoltaica di riferimento, dove le grandezze sono riferite alle Condizioni di Prova Standard (STC). La cella di riferimento è una cella fotovoltaica con la stessa area e le stesse caratteristiche di quelle integrate nella piastra LSC e con gli stessi angoli di inclinazione e azimuth della piastra LSC.

Il rapporto tra la potenza ideale delle celle fissate ai quattro bordi del pannello LSC lungo il perimetro e la potenza prodotta da una superficie fotovoltaica equivalente alla superficie di apertura dell'LSC è definito come guadagno elettrico complessivo (Γ_p).

GG è il guadagno geometrico, definito come il rapporto tra la superficie di apertura e l'area del bordo del collettore.

L'efficienza elettrica (η_e) del pannello LSC dipende dall'area di apertura, dal tipo di colorante e dalla tecnologia delle celle fotovoltaiche.

Infine, poiché le prestazioni reali di un LSC sono correlate alle sue caratteristiche ottiche, è importante calcolare l'efficienza ottica (η). Il flusso di radiazione solare che attraversa la piastra LSC provoca una modifica dello spettro e di conseguenza - a causa dello spostamento dello spettro - l'efficienza quantica cambia tra la cella integrata LSC e la cella fotovoltaica di riferimento.

3.5.7. GENERAZIONE DI CALORE

Le LSC sono state ampiamente studiate per applicazioni che coinvolgono la generazione di elettricità fotovoltaica. Tuttavia, oltre all'energia elettrica, viene generato anche calore alle pareti laterali LSC, che può degradare le celle fotovoltaiche o ridurre l'efficienza. L'energia termica generata alle pareti laterali dei LSC può però essere utilizzata anche come fonte di calore.

In particolare, nei climi più caldi, gli LSC possono offrire il doppio vantaggio di ridurre il carico di raffreddamento dell'edificio impedendo l'ingresso di energia solare e fornendo energia termica alle pareti laterali che potrebbe essere immagazzinata o utilizzata per il riscaldamento dell'acqua.

La quantità totale di energia termica assorbita dai coloranti sotto radiazione simulata solare varia da 11,6 W per l'LSC verde a 19,6 W per l'LSC arancione. Il pannello LSC trasparente genera calore in quanto assorbe la luce incidente nelle regioni spettrali UV e NIR e il valore di energia può essere variabile rispetto alla posizione. Il calore generato per il pannello trasparente viene utilizzato come riferimento per determinare la quantità di potenza termica trasferita dal colorante al telaio, ipotizzato in alluminio, all'interno di ciascun pannello LSC.

Per tutti i pannelli LSC, la potenza luminescente trasferita dal colorante è inferiore alla metà della potenza termica totale generata nel telaio per il pannello trasparente. La maggiore quantità di calore, basata per metro quadrato, trasferito dai coloranti avviene per l'LSC rosso (in media 4,48 W), mentre la minore quantità di calore trasferita si verifica per l'LSC arancione, in quanto mostra uno scarso trasferimento di calore luminescente, anche se assorbe più potenza rispetto ai coloranti negli altri LSC. Ciò è probabilmente

dovuto ad un basso rendimento quantico per i coloranti all'interno dell'LSC arancione.

I moduli LSC semitrasparenti che generano calore possono fornire alcuni vantaggi per le applicazioni nell'ambiente costruito. Ad esempio, gli LSC blu, che trasmettono la maggior parte dello spettro visibile, possono essere utilizzati come rivestimenti per finestre che sfruttano una parte dell'irradianza solare pur fornendo un'illuminazione interna adeguata.

3.5.8. EFFETTI SULL'ILLUMINAMENTO

Gli edifici per uffici sono spesso realizzati con ampie facciate trasparenti, che in molti casi causano problemi di abbagliamento e surriscaldamento agli utenti. Tuttavia, il linguaggio architettonico sembra essere legato all'immagine trasparente di questo tipo di edifici in cui i sistemi di ombreggiamento, per controllare e gestire la luce diurna, devono essere considerati già in fase di progettazione.

Gli LSC possono essere applicati come parte dell'involucro trasparente, prestando attenzione al colore dovuto ai luminofori dispersi nella massa plastica utilizzata. Quando è richiesta trasparenza e un uso più esteso della radiazione diffusa, i componenti LSC possono essere una buona alternativa ai sistemi fotovoltaici tradizionali.

PARAMETRI DELLE PRESTAZIONI LUMINOSE

La quantità di luce è il primo parametro da controllare nell'analisi delle prestazioni luminose ed è quantificata attraverso il livello di illuminamento E [lx], ovvero il flusso luminoso Φ_v [lm] che raggiunge un punto su una superficie [m^2].

La sensibilità del sistema visivo umano è legata alla lunghezza d'onda della luce e la curva di sensibilità spettrale dell'occhio V_λ ha il picco di lunghezza d'onda a 555 nm. La lunghezza d'onda e il colore della luce regolano anche gli effetti biologici del ciclo luce-buio, influenzando una grande varietà di processi corporei e svolgendo un ruolo importante nella regolazione della vigilanza, del sonno e quindi del benessere.

Di conseguenza, le prestazioni visive degli utenti negli spazi interni sono legate anche alla qualità della luce, ovvero, come fattore primario, alla temperatura di colore correlata CCT [K], che determina il colore della luce e quindi l'influenza sulla percezione e sul benessere degli utenti, e, in secondo luogo, all'indice di resa cromatica Ra [-], che consente di percepire il colore naturale degli oggetti e di eseguire compiti visivi dettagliati.

Lo standard internazionale sull'illuminazione negli spazi di lavoro richiede la conformità dei valori soglia di un numero limitato di variabili specificate per le diverse attività. I principali parametri individuati dalla norma europea (EN 12646:2011) per quantificare e qualificare la corretta illuminazione nei luoghi di lavoro sono l'illuminamento, la CCT e la Ra. I valori di questi parametri richiesti negli spazi di lavoro variano per l'illuminamento tra 200 e 750 lx, per il CCT tra 3000 K e 5300 K (cioè luce bianca calda e intermedia) e il valore di Ra è 80.

La quantità di luce (l'illuminamento) e la qualità della luce (il CCT) sono i parametri più rilevanti per comprendere la possibilità di ridurre il fabbisogno elettrico nello spazio interno, ottenendo quindi un risparmio energetico, e per valutare la qualità dell'ambiente percepito. Inoltre, la loro correlazione influisce sugli utenti nello svolgimento di compiti visivi medi o accurati.

COLORE

L'integrazione dell'LSC nell'involucro dell'edificio può essere utile per produrre elettricità e per caratterizzare l'involucro attraverso il linguaggio del colore nelle superfici trasparenti. Tuttavia, l'uso del colore in architettura deve essere valutato correttamente a causa del suo potenziale di modifica dei parametri di comfort visivo presi in esame.

L'assorbimento parziale dello spettro solare incidente modifica le coordinate cromatiche della luce solare naturale e riduce il suo indice di resa cromatica, con conseguente alterazione dei colori degli ambienti interni. La capacità di assorbimento è il rapporto logaritmico tra la quantità di radiazione che cade su un materiale I_0 (l'intensità della radiazione prima che attraversi il materiale o la radiazione incidente) e la quantità di radiazione trasmessa attraverso il materiale stesso I (radiazione trasmessa). Il valore di assorbimento a una certa lunghezza d'onda della luce (λ), indicato con A_λ , è quindi una misura quantitativa espressa come:

$$A_\lambda = \log_{10} = \frac{I_0}{I}$$

Il componente giallo LSC può essere integrato in diverse parti dell'involucro edilizio, considerando attentamente l'effetto del colore sui parametri di comfort visivo. L'integrazione dell'LSC giallo modifica la qualità della luce nello spazio interno, che diventa più calda in quanto la temperatura di colore correlata (CCT) si abbassa rispetto a una soluzione in vetro trasparente. La diminuzione della CCT genera effetti favorevoli sul comfort visivo, producendo un effetto stimolante, una percezione piacevole e uno stato d'animo di comfort rilassante, e può inoltre migliorare la luce fredda nei climi in cui prevale il cielo coperto. Inoltre, il colore dei coloranti produce uno spostamento spettrale della lunghezza d'onda che più si avvicina alla lunghezza d'onda del picco visibile umano nella visione fotopica, migliorando il livello di illuminamento e l'efficacia luminosa della luce negli spazi interni.

In condizioni di irraggiamento diretto, tuttavia, il livello di illuminamento è elevato e si possono formare macchie di luce colorata che compromettono la resa cromatica degli oggetti se si trovano in corrispondenza di tali macchie. Per ovviare a questo problema possono essere utilizzati sistemi di schermatura solare per riflettere la luce diretta. Ad esempio, con un'installazione a mensola è possibile riflettere la luce gialla verso il soffitto, consentendo una maggiore uniformità nella distribuzione dell'illuminamento nello spazio.

3.5.9. SOSTENIBILITÀ

La sostenibilità può essere raggiunta migliorando in primis i protocolli sintetici per la sintesi di semiconduttori organici. Un approccio più drastico comprende invece la progettazione di nuovi luminofori specificamente concepiti per essere sia efficienti che sostenibili. In particolare, un candidato ideale dovrebbe possedere contemporaneamente:

- accessibilità da materie prime abbondanti attraverso processi sintetici efficienti e sostenibili;
- bassa sensibilità all'ossigeno (essere poveri di elettroni);
- stabilità termica e foto-chimica;
- fluorescenza altamente efficiente;
- un ampio spostamento di Stokes, in modo da minimizzare le perdite di riassorbimento;
- perfetta compatibilità con le matrici polimeriche elaborate industrialmente.

ANALISI LCA

Gli impatti dei moduli LSC sono stati in media inferiori a quelli delle varie tecnologie fotovoltaiche rispetto alla base m²; al contrario, i moduli LSC hanno avuto i più alti impatti in tutte le categorie rispetto ad altre tecnologie fotovoltaiche sulla base di 1 kWh di energia generata.

Il potenziale di riscaldamento globale (GWP 100 anni) per Smart Window con LSC viene calcolato è pari a $5,91 \times 10^3$ kg di CO_{2eq} e la fase di produzione ha avuto l'impatto maggiore (circa 96%).

Relativamente sulla base di analisi al m²:

Impact Categories	Units	LSC	Multi-Si	Ribbon-Si	a-Si	CIS
GWP	kg CO _{2eq}	1.45×10^2	2.03×10^2	1.65×10^2	7.74×10^1	1.25×10^2

Relativamente sulla base di analisi al m²: I risultati relativi alla generazione di 1 kWh di energia hanno invece mostrato un andamento opposto:

Impact Categories	Units	LSC	Single-Si (Roof)	a-Si (Roof)	Multi-Si (Facade)	Single-Si (Facade)	Ribbon (Roof)	CdTe (Roof)	Multi-Si (Roof)
GWP	kg CO _{2eq}	1.06×10^0	7.64×10^{-2}	5.23×10^{-2}	9.98×10^{-2}	1.18×10^{-1}	5.90×10^{-2}	3.96×10^{-2}	6.43×10^{-2}

Considerando questi risultati, l'applicazione di moduli LSC potrebbe essere giustificata laddove sia disponibile una grande superficie di applicazione e sia richiesta la presenza di elementi trasparenti. In questo caso, la produzione di energia potrebbe essere massimizzata e sfruttata in modo ottimale.

STRATEGIE DI MIGLIORAMENTO

Nelle LSC convenzionali, i fluorofori sono incorporati in lastre o film otticamente trasparenti di polimeri caratterizzati da una temperatura di transizione vetrosa (T_g) relativamente elevata, da una buona durata e da una buona trasparenza. Tra le matrici polimeriche, quelle basate su polimetilmetacrilati (PMMA) o policarbonati (PC), disponibili in commercio, sono le più utilizzate, anche per la loro buona compatibilità con molti fluorofori di diverso tipo e natura. Tuttavia, la natura a base di petrolio di questi polimeri è uno svantaggio critico per le moderne aree urbane.

Negli ultimi decenni, l'attenzione verso i polimeri biobased è aumentata notevolmente; tuttavia, i rapporti relativi alle applicazioni di questi materiali per la produzione di LSC sono ancora scarsi. Inoltre, è stata evidenziata la possibilità di utilizzare molecole organiche luminescenti naturali rinnovabili per applicazioni LSC, per ridurre l'impatto ambientale dei processi e dei prodotti industriali, in particolare se integrati in una catena intelligente e a basso spreco di prodotti diversi o nell'ambito di un approccio di economia circolare.

LSC A BASE NATURALE

Tra i coloranti organici, le rodamine, le cumarine e i derivati del perilene sono gli esempi più studiati. Il Lumogen F Red 305 (R305) di BASF è il colorante organico più utilizzato nella ricerca sulle LSC, soprattutto grazie alle sue eccellenti proprietà ottiche, come

l'elevata resa quantica che si avvicina al 100%, gli ampi coefficienti di assorbimento, le proprietà ottiche sintonizzabili attraverso la loro struttura chimica, la buona solubilità nelle matrici polimeriche, ecc. Tuttavia, i coloranti organici mostrano un piccolo e considerevole spostamento di Stokes, che è responsabile delle perdite di energia.

La fotosintesi può essere un processo naturale stimolante per progettare LSC attraverso un percorso sostenibile. La clorofilla, responsabile della raccolta della luce solare e delle proprietà di emissione negli intervalli spettrali rosso/NIR, è una molecola importante in questo processo. È stato riscontrato che le LSC a base di clorofilla mostravano un'ampia sovrapposizione con l'irraggiamento solare sulla superficie della Terra.

Uno dei principali problemi dell'industria degli LSC riguarda i dispositivi basati sullo stato solido: la degradazione della matrice e dei fluorofori che compromette le prestazioni complessive. Utilizzando un liquido, il rinnovo della lastra attiva può essere limitato alla sostituzione del fluido, lasciando inalterata la parte restante del dispositivo, rendendo la sua rigenerazione più facile, economica ed ecocompatibile. Sadeghi et al. hanno riportato lo sviluppo di un LSC ecologico ed efficiente basato su un nuovo tipo di proteine fluorescenti prodotte biologicamente: questa proteina ha mostrato un assorbimento da 350 a 600 nm con un massimo a 569 nm e un'ampia banda di emissione centrata a 595 nm, mostrando una buona sovrapposizione con lo spettro solare. Il campione basato su soluzione acquosa ha prodotto una resa quantica moderata rispetto ai coloranti organici tradizionali, circa il 61,2%.

Nel 2011, Fattori et al. hanno riportato in modo efficiente l'uso di L-poli(acido lattico) (L-PLA) e nanocristalli di cellulosa come alternative ecologiche al PMMA per LSC, caratterizzate da indice di rifrazione, processabilità e trasparenza simili. Inoltre, i film di L-PLA hanno mostrato una buona stabilità sotto l'irradiazione di luce bianca e una resa quantica di circa il 35% superiore rispetto ai campioni con PMMA come matrice trasparente.

LSC A BASE DI QD ECOLOGICI

Grazie alle loro eccellenti proprietà ottiche, come le dimensioni, la forma, la composizione chimica, gli spettri di assorbimento sintonizzabili, lo spostamento di Stokes strutturalmente ingegnerizzato, gli alti valori di resa quantica e la maggiore fotostabilità, rispetto ai coloranti organici convenzionali e ai polimeri, i QD colloidali hanno attirato molta attenzione come fluorofori per le LSC.

I CD appartengono a una speciale classe di nanomateriali colloidali costituiti da elementi terrestri abbondanti e non tossici (C, N e O) che possono essere sintetizzati su larga scala attraverso protocolli di sintesi facili, economici e "verdi", mostrando un'elevata stabilità. I CD presentano proprietà uniche come proprietà ottiche sintonizzabili, valori moderati di resa quantica (30-78%) rispetto ai coloranti organici convenzionali (> 90%), fotostabilità e grande coefficiente di assorbimento molare. Possono migliorare significativamente le prestazioni del dispositivo LSC, tra cui η_{opt} e PCE.

Inoltre, il silicio è un materiale abbondante, ecologico ed economico. I Si-QD si distinguono per il loro bandgap semiconduttivo indiretto con un coefficiente di assorbimento molto piccolo sul confine di assorbimento, che consente di sopprimere le perdite di riassorbimento.

3.5.10. OVERVIEW CELLE FOTOVOLTAICHE

	Efficienza	Integrabilità	Spessore	Costo	Stabilità	Trasparenza	Sostenibilità
Prima generazione							
Seconda generazione (CIGS)							
Terza generazione (CPV)							
Terza generazione (LSC)					*		*

* A seconda della tipologia scelta

3.5.11. OVERVIEW TIPOLOGIE DI LUMINOFORI

	Spettro di assorbimento	Compatibilità con matrice	Adatto a grandi aree	Stabilità	Colore	Sostenibilità
Tipo A (organici)						
Tipo B (QD colloidali)						
QD al silicio						

3.5.12. OVERVIEW MATERIALE DELLA GUIDA D'ONDA

	Adatto a grandi aree	Trasparenza	Costo
Vetro standard			
PMMA standard			
PMMA fluorurato			

3.6. COMBINAZIONE TECNOLOGIE CIGS E LSC

Attualmente è nota la crescita e la caratterizzazione di celle solari ad alta efficienza a base di (Al)InGaP progettate per essere accoppiate con le LSC: le loro prestazioni sono valutate al variare della loro struttura e composizione e confrontate con l'efficienza delle celle a Si. Il confronto fra le diverse tecnologie e la valutazione di esse ha portato alla scelta ottimale di combinazione di CIGS con LSC, sfruttando il meccanismo di cattura tramite captazione della radiazione solare diffusa e diretta; questa viene poi convogliata agli estremi della fotocellula tramite un meccanismo di riflessione.

Essendo una tecnologia innovativa ed emergente, non ancora sperimentata sugli edifici, offre considerevoli vantaggi, tra cui il basso costo dovuto allo spessore dell'ordine di micron delle celle, all'utilizzo del meccanismo fotovoltaico di trasformazione dell'energia e alla possibilità di integrazione con un sistema cinetico in facciata di regolazione della radiazione, in modo da garantire il controllo del sistema e il comfort degli occupanti nell'edificio.

3.7. INTEGRAZIONE CON SMART WINDOW

GLI LSC offrono la possibilità di sfruttare la radiazione solare attraverso l'uso di dispositivi di grande superficie (superficie della finestra) che necessitano di una quantità minima di materiale fotovoltaico (solo ai bordi della finestra). La luce solare viene assorbita dai materiali e riemessa a lunghezze d'onda distinte, corrispondenti alla regione spettrale di funzionamento della cella fotovoltaica. La luce emessa viene guidata dalla riflessione interna totale verso le celle fotovoltaiche accoppiate ai bordi, dove viene convertita in elettricità. Gli LSC sono altamente trasparenti e offrono un'elevata libertà di progettazione che può essere applicata su ampie superfici e incorporata in facciate o finestre, poiché funzionano in modo simile sia con la luce solare diretta che diffusa.

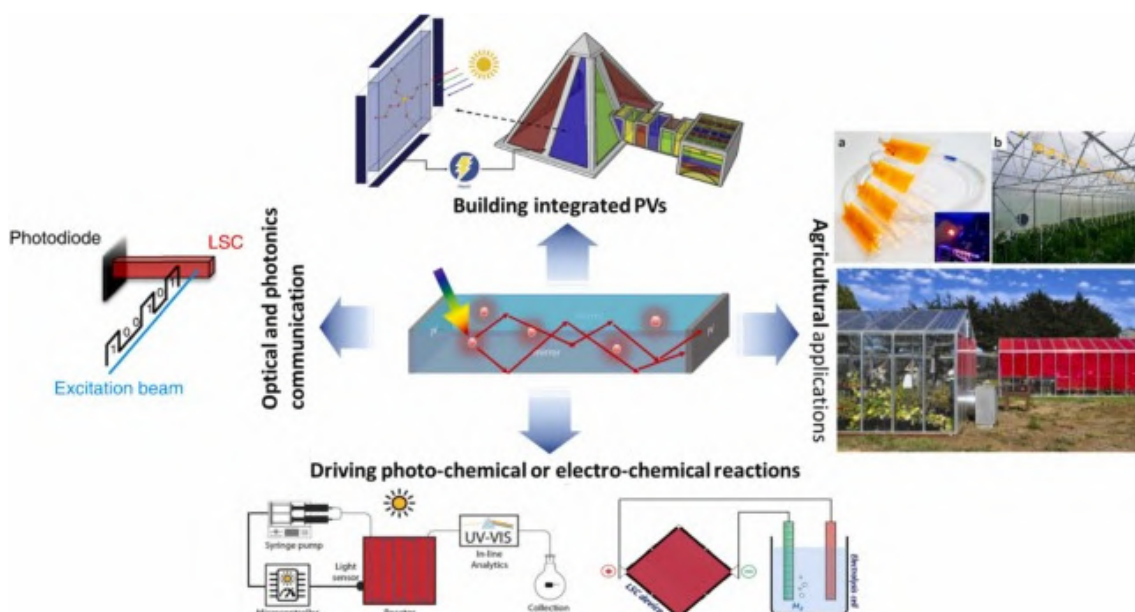


Figura VI.3.16. Principali applicazioni previste per LSC.
Fonte immagine: S. Castelletto, Nano Energy

I componenti di un LSC per una Smart Window sono costituiti da una matrice trasparente di materiale polimerico additivato con un colorante luminescente (fluoroforo). La matrice trasparente agisce come una guida d'onda ed è fatta sotto forma di una lastra. Il fluoroforo permette di assorbire e riemettere la radiazione solare incidente, mentre la guida d'onda la concentra verso i bordi della lastra; qui piccole celle solari fotovoltaiche convertono la radiazione solare in energia elettrica. Le celle fotovoltaiche sono incollate sui bordi della lastra e protette da un telaio perimetrale; possono essere collegate sia in serie che in parallelo, secondo le specifiche esigenze di utilizzo. Il fluoroforo all'interno della matrice determina il colore finale delle lastre e le prestazioni finali dei moduli.

Nelle LSC convenzionali, i fluorofori sono incorporati in lastre o film otticamente trasparenti di polimeri caratterizzati da una temperatura di transizione vetrosa (T_g) relativamente elevata, da una buona durata e da una buona trasparenza, tutti fattori cruciali per massimizzare le prestazioni delle LSC. Tra le matrici polimeriche, quelle basate su polimetilmetacrilati (PMMA) o policarbonati (PC), disponibili in commercio, sono le più utilizzate, anche per la loro buona compatibilità con molti fluorofori di diverso tipo e natura; ciò non esclude la possibilità di utilizzo e integrazioni di materiali bio-based anche nelle smart window all'interno di un edificio.

L'attuale tendenza nell'installazione del fotovoltaico nel contesto urbano è la sua integrazione con gli elementi dell'edificio, in particolare con i tetti. Anche se questa soluzione è sempre da prendere in considerazione, a volte ci sono problemi legati agli spazi disponibili, così come problemi di ombreggiamento, che potrebbero compromettere o ridurre il potenziale di generazione dei dispositivi. Inoltre, nell'ottica degli nZEB, l'energia fornita dal tetto-fotovoltaico è adeguata per edifici moderatamente alti, che non superano una certa altezza, e questo complica il raggiungimento del bilancio energetico; di conseguenza, è necessario l'utilizzo di altre soluzioni e tecnologie rinnovabili aggiuntive.

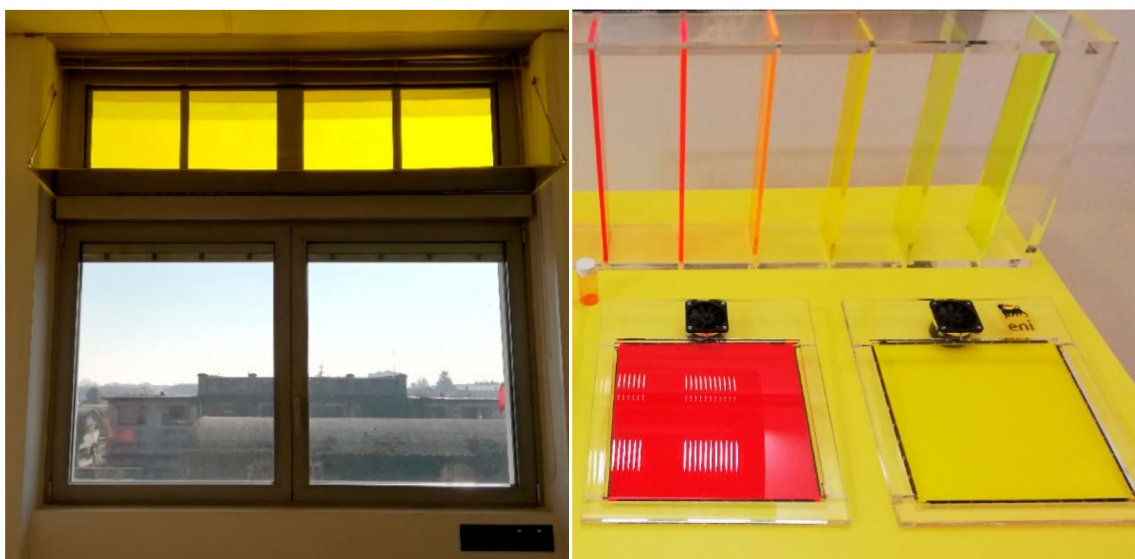


Figura VI.3.17. Prototipo SW-LSC.
Fonte immagine: Progetto Eni Ray Plus®

Oltre alla produzione di energia, un altro aspetto da considerare per gli edifici è l'aumento dell'efficienza e del comfort per gli occupanti. In questa prospettiva, il comfort termico deve essere perseguito così come il comfort visivo, mantenendo le prestazioni termiche dell'involucro il più possibile elevate.

Sono stati sviluppati recentemente sistemi integrati Smart Window - Luminescent Solar Concentrator (SW-LSC), nell'ambito del progetto Eni Ray Plus®; il prototipo è stato assemblato e testato presso il Centro Ricerche Eni di Novara (Italia). Il termine "Smart Window" si riferisce a una tecnologia in grado di partecipare attivamente o passivamente alle prestazioni energetiche e al risparmio energetico dell'edificio, grazie al controllo solare dinamico e alle caratteristiche intrinseche del dispositivo (trasmittanza del vetro e del telaio). Nel caso del SW-LSC, che prevede anche l'utilizzo di LSC, esso contribuisce anche in termini di produzione di energia e di miglioramento della luce diurna. Il funzionamento del SW-LSC si basa su un sistema di ombreggiamento passivo e motorizzato che sfrutta l'energia elettrica dei moduli LSC integrati nel telaio.

Nell'ambito della costruzione dell'involucro per la nuova arena polifunzionale, il controllo solare è ottenuto attraverso l'integrazione fra sistema cinetico e tecnologia e gli schermi più esterni sono regolabili in base alle condizioni del cielo e al livello di irraggiamento. Il movimento degli schermi solari è azionato da motori elettrici (motori a corrente continua), integrati nel telaio della finestra e alimentati da pannelli LSC. Per garantire la conservazione dell'energia elettrica e la continuità di funzionamento anche nei giorni di scarsa radiazione solare, il SW è dotato di due batterie, incorporate nel telaio. Il movimento è guidato da un sensore esterno (un misuratore di luce/radiazione) collegato a un computer con una logica di controllo adattiva, che consente di ottenere la migliore regolazione in termini di comfort interno e risparmio energetico. Poiché i moduli producono energia anche in presenza di radiazione diffusa grazie all'utilizzo di batterie di accumulo, il sistema garantisce il funzionamento anche durante giornate nuvolose.

3.7.1. LIMITI DEL SISTEMA

Durante la realizzazione del sistema occorre prestare attenzione ai limiti dei nanomateriali che lo compongono: nel CIGS il problema maggiore è dovuto alle perdite elettroniche e alla tossicità del solfuro di cadmio (CdS) presente nel substrato. Mentre nel caso degli LSC, i limiti sono attribuibili alle perdite di riassorbimento dovute all'indice di resa cromatica (CRI) di alcuni colori come il rosso e il giallo, e quindi legati alla stabilità a lungo termine del materiale.

3.7.8. COLLABORAZIONE CON SISTEMA CINETICO

Nell'ottica di un sistema di facciata multi-layer, nello strato più esterno si trova il sistema di vele cinetiche rivestite da PTFE in fibra di vetro: in questo modo, preserva la regolazione della radiazione in ingresso al sistema Smart Window combinato CIGS-LSC integrato nelle grandi facciate trasparenti dell'edificio del lato Ovest.

Il materiale scelto gode di ottima resistenza sia alle basse che alle alte temperature, fino a 260° C, resistenza agli agenti atmosferici e ha un buon isolamento termico. Inoltre, la sua semitrasparenza permette una parziale visibilità negli ambienti interni.

04

STUDIO
ILLUMINOTECNICO

Al fine di valutare le caratteristiche dell'involucro adattivo, in particolare le possibili configurazioni che può assumere nel corso dell'anno, e raggiungere il comfort visivo all'interno degli ambienti adiacenti al sistema, è stata adottata una strategia di progettazione della luce diurna.

4.1. LUCE DIURNA

La luce diurna ha un impatto positivo sul benessere delle persone, sia dal punto di vista fisiologico che psicologico, in quanto le condizioni ambientali influenzano la salute umana. Gli esseri umani trascorrono la maggior parte del tempo in ambienti chiusi e la maggior parte della popolazione mondiale lavora in un ambiente d'ufficio; perciò, diventa fondamentale ottimizzare le condizioni degli spazi di lavoro, migliorando i fattori ambientali interni come l'acustica, la qualità dell'aria e la luce diurna per il benessere degli abitanti. In particolare, nei luoghi di lavoro, la luce naturale porta a una maggiore produttività, a una diminuzione dello stress e a una maggiore soddisfazione dei dipendenti.

Oltre a questi benefici per il benessere degli occupanti, l'utilizzo di luce diurna porta ad un potenziale di risparmio energetico per ridurre il carico di illuminazione elettrica. La luce diurna contribuisce quindi alla sostenibilità complessiva degli

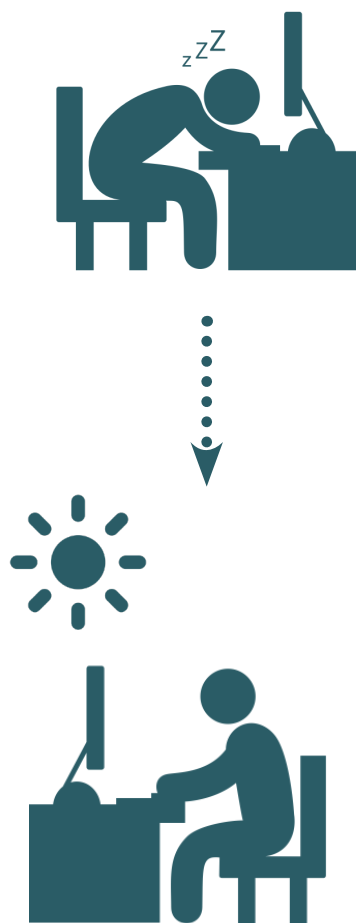


Figura VI.4.1. Miglioramento dell'ambiente di lavoro grazie alla luce diurna

edifici, sia dal punto di vista ambientale che sociale. Inoltre, la maggior parte dei sistemi di valutazione degli edifici “verdi”, come la certificazione Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) e lo standard WELL Building, premiano gli edifici che hanno un buon accesso alla luce naturale.

4.1.1. GRANDEZZE ILLUMINOTECNICHE PRINCIPALI

Prima di poter effettuare qualsiasi analisi di tipo illuminotecnico, è fondamentale definire le principali grandezze fisiche che le governano:

- **flusso luminoso:** quantità totale di radiazioni emesse nell'unità di tempo da una sorgente luminosa, pesate con sensibilità spettrale dell'occhio umano. La sua unità di misura è il lumen [lm].
- **intensità luminosa:** concentrazione di luce in una direzione specifica, irradiata per unità di tempo. Corrisponde quindi al flusso luminoso emesso in una determinata direzione da una sorgente luminosa per l'angolo solido che lo contiene. La sua unità di misura è la candela [cd].
- **luminanza:** rapporto tra l'intensità luminosa emessa da una sorgente luminosa in una data direzione e l'area apparente della superficie. La sua unità di misura sono le candele al metro quadro [cd/m²].
- **illuminamento:** rapporto tra il flusso luminoso ricevuto da un elemento di superficie e l'area di questo elemento. L'illuminamento viene generalmente definito come indice della disponibilità di luce in un ambiente. La sua unità di misura è il lux [lx].

4.1.2. DEFINIZIONE DEI KPI E VALORI DI SOGLIA

A partire dalle grandezze illuminotecniche precedentemente descritte, nel corso degli anni sono state aggiunte numerose definizioni che vertono sulla descrizione di fenomeni specifici, come ad esempio l'abbagliamento. Infatti, una maggiore comprensione dei benefici della luce diurna, combinata con una maggiore consapevolezza del disagio dell'abbagliamento, ha portato a un'espansione delle considerazioni sulle prestazioni.

Di seguito vengono quindi definiti i Key Performance Indicators (KPI) quantitativi utilizzati nelle successive analisi, ai quali viene associato un possibile valore di soglia (threshold) secondo il quale il sistema adattivo cambierà di configurazione, utile per la successiva ottimizzazione del sistema stesso.

I valori minimi per l'illuminamento di ambienti differenziati in spazi polifunzionali sono definiti dalla normativa NF EN 12464-1, Table 1 riportata al del Capitolo III - Normativa di Riferimento, paragrafo 2.6. - Illuminazione.

Essendo il sistema di movimentazione simile al funzionamento di un ombrello, la denominazione delle configurazioni della facciata adattiva segue quella applicata alla apertura/chiusura dello stesso. Pertanto è necessario precisare le seguenti diciture:

- Sistema chiuso = ombrello chiuso = schermatura aperta (la luce non viene filtrata);
- Sistema aperto = ombrello aperto = schermatura chiusa (la luce viene filtrata).

KEY PERFORMANCE INDICATORS

KPI	DEFINIZIONE	POSSIBILE THRESHOLD
Illuminamento sul piano di lavoro	Rapporto tra il flusso luminoso che incide su un elemento di superficie intorno al punto e l'area dell'elemento stesso u.m. [lux]	< 500 lux sistema chiuso > 2000 lux sistema aperto
Daylight Autonomy DA	Percentuale di ore di occupazione nelle quali un punto riceve illuminazione pari o superiore alla soglia, posta a 500 lux u.m. [%]	Massimizzata (in termini percentuali)
Spatial Daylight Autonomy sDA	Percentuale di un'area di analisi che soddisfa un livello minimo di illuminamento diurno per una determinata frazione di ore operative all'anno (solitamente il 50% della giornata operativa) u.m. [%]	Massimizzata (in termini percentuali)
Daylight Factor DF	Rapporto in percentuale tra l'illuminamento interno con luce diurna e l'illuminamento esterno in un cielo coperto senza ostacoli u.m. [%]	Tra il 4% e il 7% (ambiente luminoso) Minimo 2%
Radiazione	Quantitativo di radiazione solare incidente per m ² di superficie u.m. [W/m ²]	< 20 W/m ² sistema chiuso
Useful Daylight Illuminance UDI	Percentuale di ore di occupazione in cui l'illuminamento rientra tra le soglie minima e massima u.m. [%] UDI_low: Percentuale di ore di occupazione in cui l'illuminamento è inferiore alla soglia minima, posta a 300 lux u.m. [%] UDI_up: Percentuale di ore di occupazione in cui l'illuminamento è superiore alla soglia minima, posta a 2000 lux u.m. [%]	UDI massimizzata (in termini percentuali) UDI_low minimizzata (in termini percentuali) UDI_up minimizzata (in termini percentuali)
Abbagliamento	DGP (Daylight Glare Probability): probabilità che un osservatore in una determinata posizione e orientamento visualizzi sperimenterà un bagliore fastidioso Glare Autonomy (GA): percentuale di ore di occupazione in cui ogni vista è priva di abbagliamento (con una DGP inferiore alla soglia di abbagliamento). u.m. [%]	DPG<34 GA massimizzata (in termini percentuali)

4.2. CASO STUDIO SEMPLIFICATO

Essendo stato scelto il fronte Ovest come campo di applicazione della facciata adattiva, l'area selezionata per lo studio e l'ottimizzazione del sistema dinamico è una porzione di uffici al piano terra evidenziata in figura, in quanto l'intero ambiente sarebbe stato troppo ampio per condurre analisi accurate e concentrate sul solo comportamento della facciata.

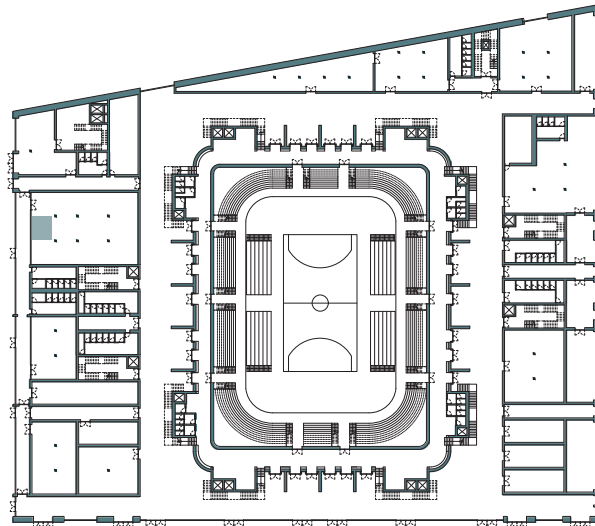


Figura VI.4.2. Pianta piano terra e individuazione uffici caso studio

4.2.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

La porzione di uffici ha dimensioni 4,00 x 4,50 m ed essendo l'altezza interna utile totale di 6,60 m è stato posizionato nella parte più interna un soppalco di dimensioni 2,50 x 4,50 m ad un'altezza dal suolo di 3,10 m. Antistante l'ufficio è presente un corridoio distributivo di dimensioni 3,50 x 4,50 m e di altezza interna utile di 6,60 m, caratterizzato da due facciate continue disposte sui lati maggiori: la prima verso l'esterno e la seconda verso gli uffici (entrambe con dimensioni 4,40 x 6,50 m).

4.2.2. MATERIALI

I materiali di rivestimento per gli uffici sono stati scelti in maniera tale da rendere l'ambiente il più luminoso possibile. Le pareti interne e il soffitto sono pertanto rivestiti con stucco bianco, avente coefficiente di riflessione 0.7. Per il pavimento si è optato per un rivestimento in Luxury Vinyl Tile (LVT) caratterizzato da un coefficiente di riflessione di 0.6. Il corridoio presenta alle pareti la stessa tipologia di rivestimento, mentre per il pavimento è stata scelta una pasta cementizia con un coefficiente di riflessione di 0.4.

Per la facciata continua interna è previsto l'utilizzo di un doppio vetro caratterizzato da una trasmittanza pari a 0.80. Invece la vetratura esterna presenta al suo interno il sistema di captazione solare LSC, per cui la sua trasmittanza è pari a 0,7.

4.2.3. MODELLAZIONE

Le analisi sono state realizzate grazie alla modellazione del caso studio dapprima in Rhino, e successivamente tramite il plug-in Honeybee per Grasshopper.

Il modello Rhino presenta i volumi degli ambienti precedentemente descritti e le superfici delle aperture. A partire da esso è stato quindi realizzato il modello Honeybee utilizzato per le analisi, al quale sono state attribuite le caratteristiche dei materiali tramite modificatori.

Grazie invece all'utilizzo di Grasshopper è stata modellata la facciata adattiva come descritto nel paragrafo 2.3. del presente capitolo.

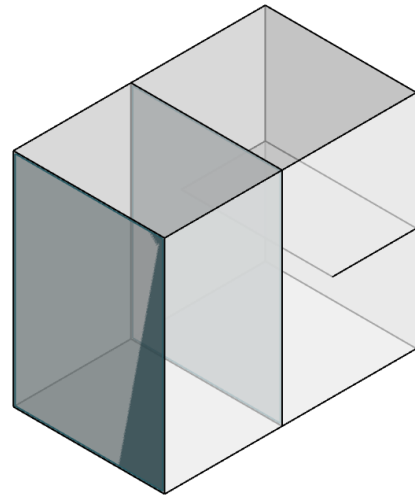


Figura VI.4.3. Assonometria del caso studio, modello Rhino

4.2.4. AMBIENTE DI ANALISI

Al fine di effettuare le analisi illustrate in seguito è stata utilizzata una griglia di 8x9 sensori posizionata in maniera tale da considerare il caso peggiore di illuminamento, ovvero quello che tiene conto dell'ombreggiamento dato dal sopralco. Rimanendo la stessa per tutte le tipologie di analisi, l'altezza rispetto a terra della griglia nel caso di analisi sull'illuminamento è stata posta a 85 cm, altezza del piano di lavoro, mentre per valutare l'abbagliamento i sensori sono stati posti ad un'altezza di 120 cm, ovvero l'altezza dell'occhio umano di una persona seduta.

Infine, per quanto riguarda l'arco di tempo, si è scelto di effettuare le analisi dalle 9.00 alle 18.00, che corrisponde all'intervallo di tempo di occupazione di un ufficio generico.

4.2.5. TIPOLOGIE DI ANALISI

Per la porzione di uffici selezionata sono state condotte diverse analisi illuminotecniche, a partire dallo stato di fatto senza schermatura, fino all'individuazione delle configurazioni adatte per ogni fascia oraria nei giorni di analisi (21 dicembre, 21 giugno, 21 marzo e 23 settembre).

Possono però essere distinte due macro categorie di analisi: annuali e puntuali.

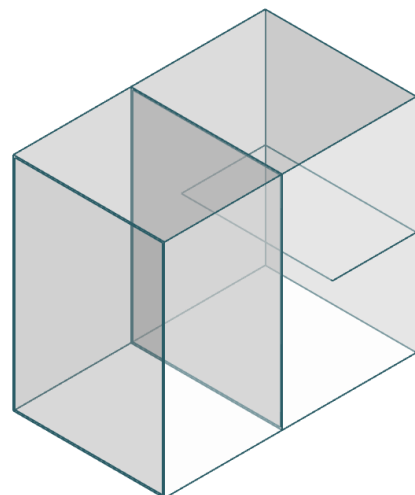


Figura VI.4.4. Assonometria del caso studio, modello Honeybee

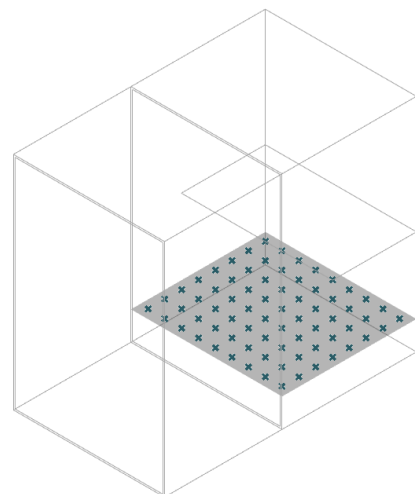


Figura VI.4.5. Identificazione griglia di sensori

ANALISI ANNUALI

Le analisi annuali condotte sono state:

- annual Daylight, da cui sono stati ricavati DA, sDA, UDI, UDI_low e UDI_up. A questa analisi è stata applicata una schedulazione di occupazione del locale in maniera tale da calcolare soltanto il periodo di tempo definito in precedenza. In particolare per valutare la sDA è stato adottato un pass/fail test, ovvero è stato ricavato un Data Tree composto da zeri e uno, che indica se un determinato sensore supera i criteri di illuminazione diurna (1) o non li supera (0);
- annual Irradiance, da cui è stata ricavata la radiazione media annua e la radiazione di picco;
- annual Glare, da cui è stata ricavata GA.

L'analisi per valutare il Daylight Factor rientra in questa categoria in quanto non valuta un periodo temporale definito.

ANALISI PUNTUALI

Le analisi puntuali sono state quelle relative all'illuminamento sul piano di lavoro, condotte per ognuno dei giorni di analisi con frequenza oraria.

4.2.6. VALUTAZIONE DELLO STATO DI FATTO

Riferimento tavole 97-99

L'analisi dello stato di fatto, ovvero senza la schermatura dinamica, è fondamentale in quanto permette di rilevare fin da subito gli aspetti critici e quindi di sviluppare delle strategie per il conseguimento del comfort visivo interno tramite l'applicazione della facciata adattiva. Si riportano di seguito i risultati ottenuti.

Partendo dalle analisi annuali, si può da subito notare come la parte antistante dell'ufficio presenti delle criticità per quanto riguarda l'elevato illuminamento, come mostrato in particolare da UDI_up, e l'abbagliamento. Al contrario, la parte più interna è soggetta a un basso illuminamento, come evidenziato da UDI_low, sDA e DF. Tale discontinuità all'interno dell'ambiente viene perciò riscontrata nei valori di DA, UDI e di radiazione solare incidente.

Considerando invece le analisi puntuali dell'illuminamento, si nota come i valori più elevati vengono raggiunti nelle ore pomeridiane, tra le 15.00 e le 17.00, ovvero quando l'ambiente è esposto all'*afternoon glare* dovuto all'esposizione Ovest.

Il sistema di schermatura dovrà quindi mitigare gli aspetti critici dovuti all'abbagliamento e al superamento della soglia massima di illuminamento emersi nella parte dinanzi all'apertura vetrata, cercando però al tempo stesso di non peggiorare eccessivamente le condizioni nella parte più interna dell'ambiente. Quest'ultimo aspetto verrà approfondito nell'analisi illuminotecnica condotta sul caso studio complesso.

ANALISI ANNUALI - STATO DI FATTO

Riferimento tavola 97

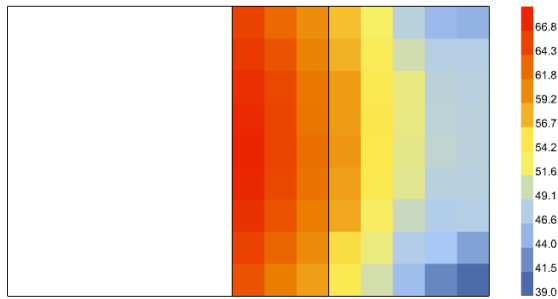


Figura VI.4.6. Daylight Autonomy (DA) - [%]

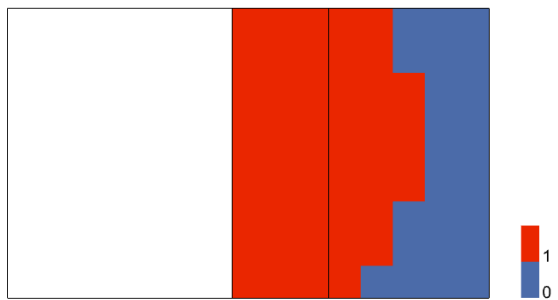
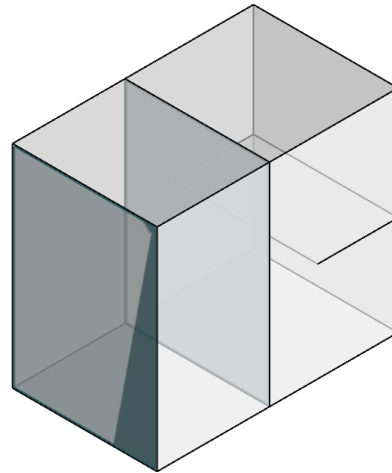


Figura VI.4.7. Spatial Daylight Autonomy (sDA) - [%]

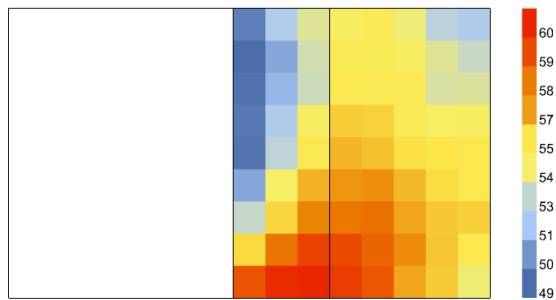


Figura VI.4.8. Useful Daylight Illuminance (UDI) - [%]

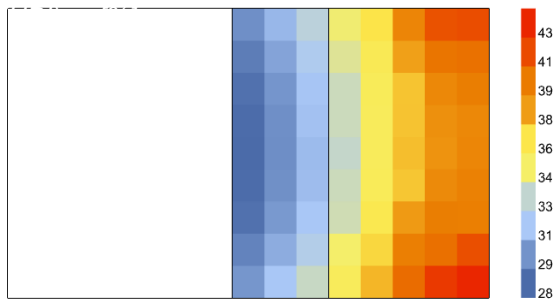


Figura VI.4.9. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]

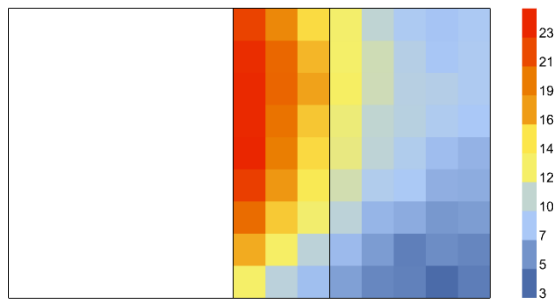


Figura VI.4.10. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]

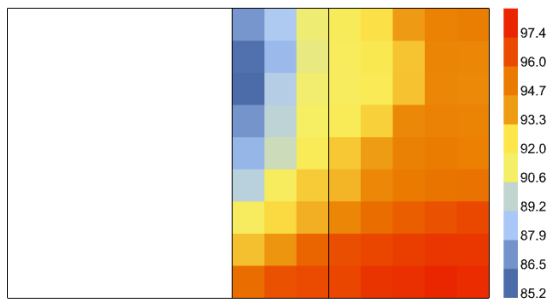


Figura VI.4.11. Glare Autonomy (GA) - [%]

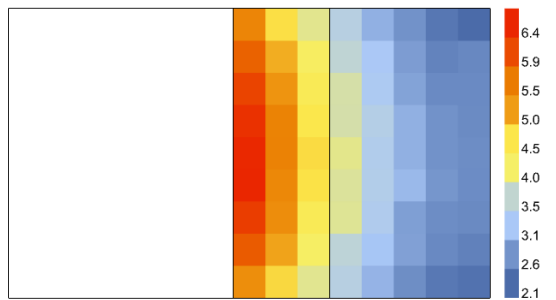


Figura VI.4.12. Daylight Factor (DF) - [%]

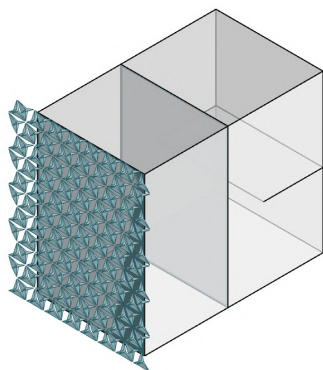


Figura VI.4.13. CP1

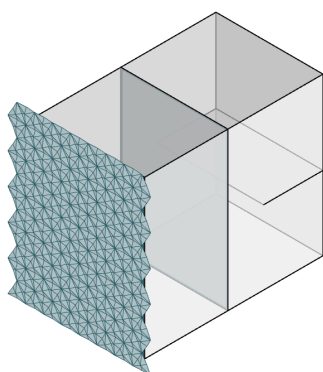


Figura VI.4.14. CP2

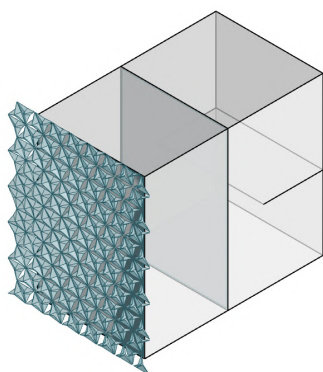


Figura VI.4.15. CP3

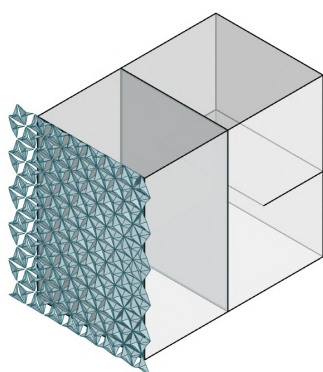


Figura VI.4.16. CP4

4.2.7. DEFINIZIONE DELLE CONFIGURAZIONI DI PROGETTO

Avendo ben definito la tipologia e il meccanismo di movimentazione del modulo che determina il pattern della facciata adattiva, è possibile definire delle combinazioni dei singoli moduli, che varieranno nella percentuale di apertura e chiusura.

CONFIGURAZIONE DI PROGETTO 1 (CP1)

Il sistema è totalmente chiuso, lasciando così passare la luce.

CONFIGURAZIONE DI PROGETTO 2 (CP2)

Il sistema è totalmente aperto, permettendo il passaggio solamente di luce diffusa.

CONFIGURAZIONE DI PROGETTO 3 (CP3)

Il sistema è aperto verso Nord, in maniera graduale. I moduli verso Sud rimangono chiusi.

CONFIGURAZIONE DI PROGETTO 4 (CP4)

Il sistema è aperto verso Sud, in maniera graduale. I moduli verso Nord rimangono chiusi.

4.2.8. STEP DI ANALISI

Al fine di ottenere il sistema di schermatura dinamico ottimizzato, sono state effettuati diversi passaggi e per ognuno di questi sono state ripetute le analisi illuminotecniche in tutte le configurazioni di progetto. Questo ha permesso di valutare in maniera puntuale se i cambiamenti effettuati avessero un impatto positivo per ogni configurazione e se vi fossero ancora delle criticità da affrontare in step successivi.

Ogni variazione del sistema ha comportato quindi la definizione di specifici step di analisi.

STEP 1: APPLICAZIONE SCHERMATURA

Riferimento tavole 100-111

Il primo passo è stato quello di integrare i moduli del sistema dinamico allo stato di fatto, caratterizzandoli tramite la trasparenza del materiale e la distanza dalla facciata.

Il PTFE di cui i moduli sono principalmente composti è un materiale semi-opaco, per cui è possibile regolarne la trasmittanza luminosa. Inizialmente la trasmittanza è stata ipotizzata pari a 0,7. La distanza dei moduli dalla facciata è stata invece posta a 50 cm.

Valutando quindi tutte le configurazioni, in particolare la CP2, si è notato come il materiale avesse una trasmittanza luminosa troppo elevata, non mitigando perciò gli effetti di abbagliamento e di illuminamento elevato durante i periodi critici.

Come ipotizzato precedentemente, il posizionamento della schermatura ha portato ad un peggioramento delle condizioni dell'ambiente nella parte più interna. Tale peggioramento però, come si può notare nella CP1, ha influito maggiormente per il DF, mentre per le restanti analisi la variazione nei valori percentuali è stata ritenuta ragionevole.

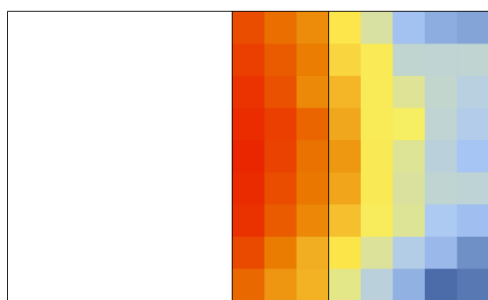


Figura VI.4.17. Daylight Autonomy (DA), CP1.1 - [%]

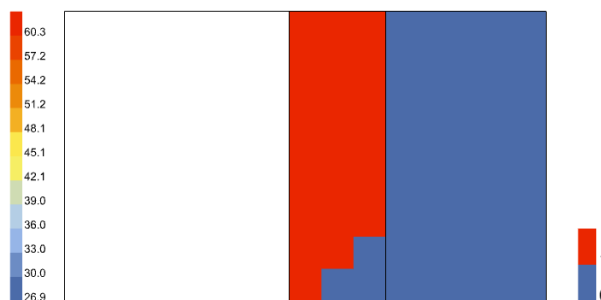


Figura VI.4.18. Spatial Daylight Autonomy (sDA), CP1.1 - [%]

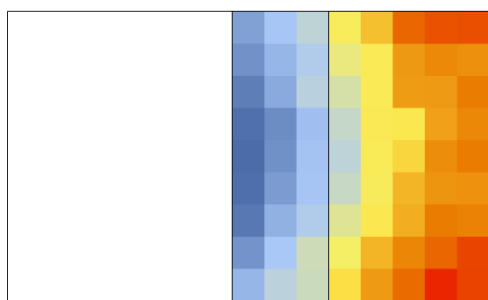


Figura VI.4.19. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low), CP1.1 - [%]

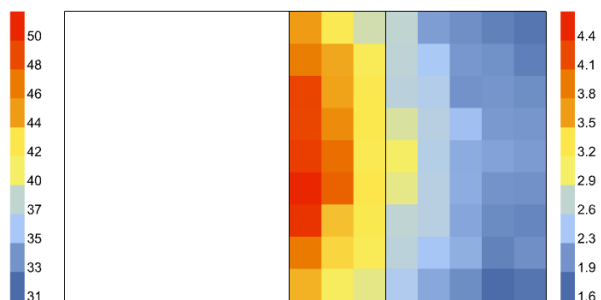


Figura VI.4.20. Daylight Factor (DF), CP1.1 - [%]

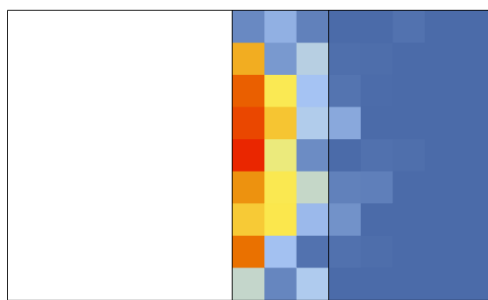


Figura VI.4.21. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up), CP2.1 - [%]

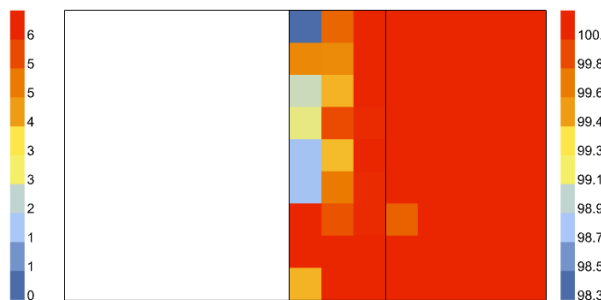


Figura VI.4.22. Glare Autonomy (GA), CP2.1 - [%]

STEP 2: VARIAZIONE TRASMITTANZA LUMINOSA

Riferimento tavole 112-123

La prima variazione al sistema è stata quella riguardante la trasmittanza luminosa del materiale dei moduli, il PTFE. Tale valore è stato quindi abbassato a 0,3, mentre la distanza dei moduli dalla facciata è rimasta invariata al fine di valutare in maniera precisa le variazioni dovute alla modifica.

Prevedibilmente, è stato registrato un lieve peggioramento delle condizioni dell'ambiente più interno. Tuttavia i valori annuali dimostrano il raggiungimento dell'obiettivo di minimizzare l'abbagliamento e di non superamento della soglia massima di illuminamento.

Tale risultato è stato confermato nelle analisi puntuali effettuate, con valori di illuminamento nelle ore pomeridiane inferiori a 2000 lux. Inoltre, è sempre più evidente come siano necessarie ulteriori strategie di miglioramento da effettuare nel caso studio più complesso, in quanto queste analisi sono focalizzate sullo studio illuminotecnico relativo al comportamento della sola facciata adattiva.

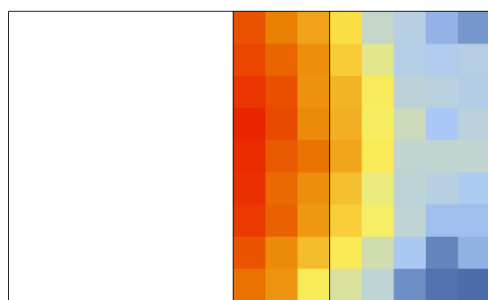


Figura VI.4.23. Daylight Autonomy (DA), CP1.2 - [%]

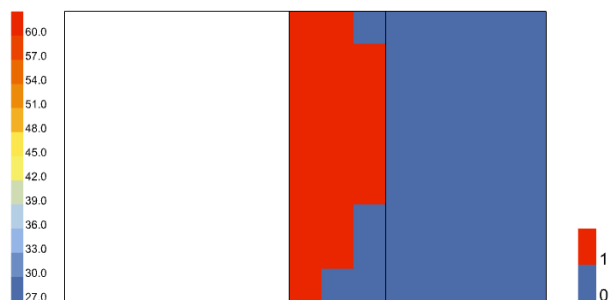


Figura VI.4.24. Spatial Daylight Autonomy (sDA), CP1.2 - [%]

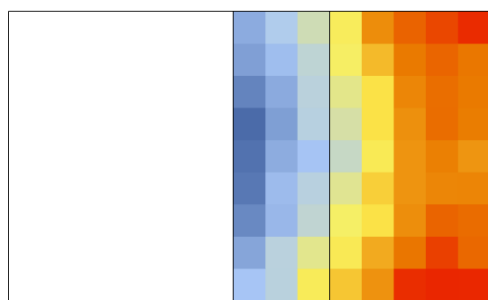


Figura VI.4.25. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low), CP1.2 - [%]

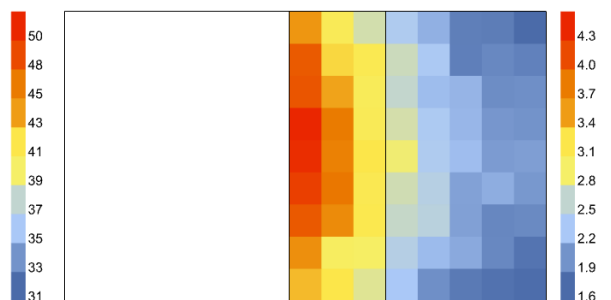


Figura VI.4.26. Daylight Factor (DF), CP1.2 - [%]

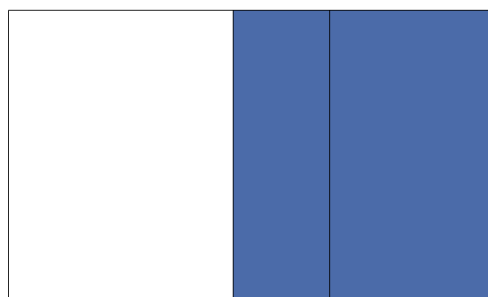


Figura VI.4.27. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up), CP2.2 - [%]

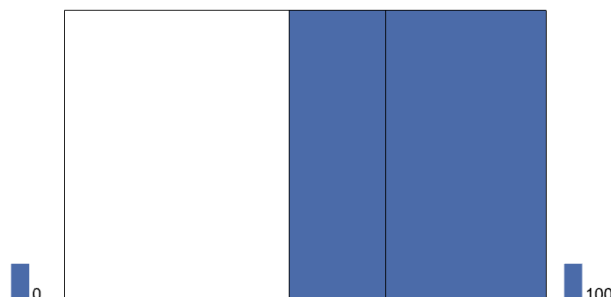


Figura VI.4.28. Glare Autonomy (GA), CP2.2 - [%]

STEP 3: VARIAZIONE DISTANZA DALLA FACCIATA

Riferimento tavole 124-135

Raggiunto l'obiettivo di mitigazione dell'abbagliamento e dei valori elevati di illuminamento, è stata aumentata la distanza dei moduli della facciata a 60 cm. Tale scelta è stata guidata dall'esigenza di dover prevedere interventi di manutenzione della facciata adattiva, e quindi consentire il passaggio di addetti e lo spazio necessario allo svolgimento delle operazioni manutentive e/o di riparazione.

Inoltre, volendo svolgere opportuni confronti tra i precedenti step di analisi, la griglia dei moduli non è stata modificata. Per questo motivo i risultati delle analisi ad una prima lettura possono sembrare lievemente peggiorati, in particolare l'abbagliamento, ma ciò è dovuto alla dimensione della griglia, come verrà confermato nello step successivo.

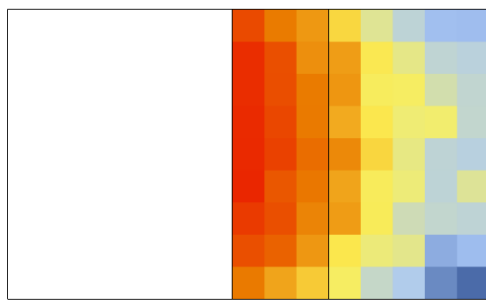


Figura VI.4.29. Daylight Autonomy (DA), CP1.3 - [%]

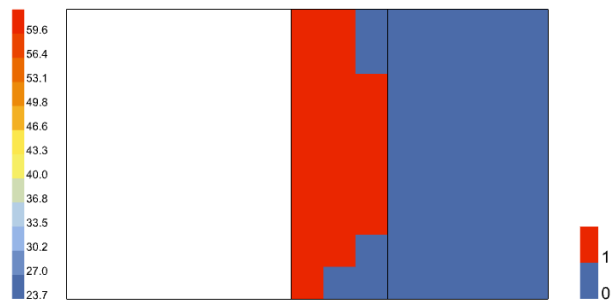


Figura VI.4.30. Spatial Daylight Autonomy (sDA), CP1.3 - [%]

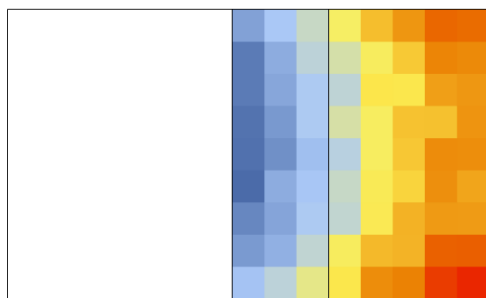


Figura VI.4.31. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low), CP1.3 - [%]

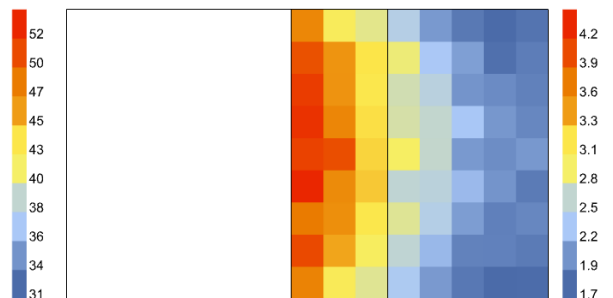


Figura VI.4.32. Daylight Factor (DF), CP1.3 - [%]

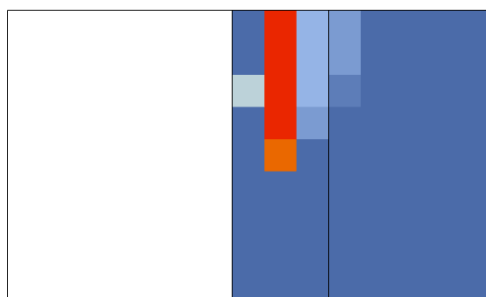


Figura VI.4.33. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up), CP2.3 - [%]

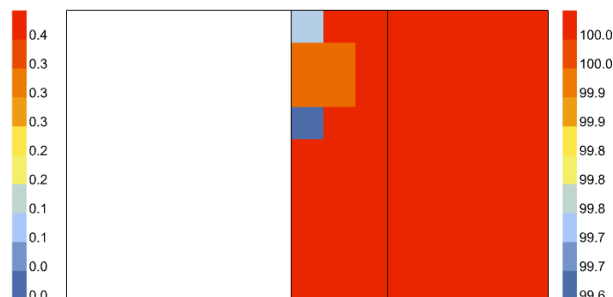


Figura VI.4.34. Glare Autonomy (GA), CP2.3 - [%]

STEP 4: SCELTA DELLA CONFIGURAZIONE

Riferimento tavole 136-151

Al fine di valutare correttamente le variazioni dovute dallo spostamento dei moduli, è stata ampliata la griglia in maniera da coprire l'intera superficie.

Ciò ha permesso di constatare come non vi siano significative variazioni sul comportamento annuale, mentre per quanto riguarda l'illuminamento nei periodi temporali esplicitati in precedenza si possono notare relativi miglioramenti.

A partire da queste analisi è stato possibile analizzare i risultati ottenuti, per poi in seguito elaborare un cronoprogramma di funzionamento della facciata per i giorni selezionati. Per fare ciò sono state omogenizzate le scale in legenda dei giorni 21 marzo, 21 giugno e 23 settembre per l'illuminamento.

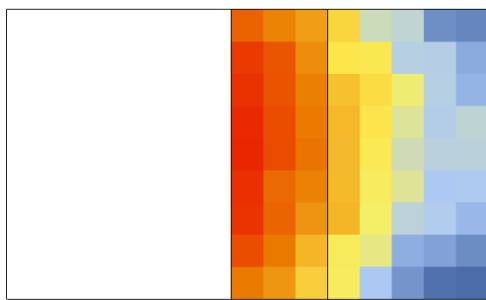


Figura VI.4.35. Daylight Autonomy (DA), CP1 - [%]

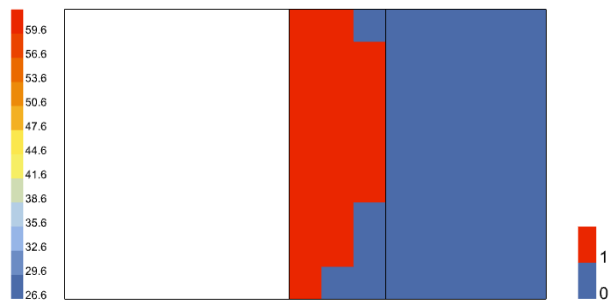


Figura VI.4.36. Spatial Daylight Autonomy (sDA), CP1 - [%]

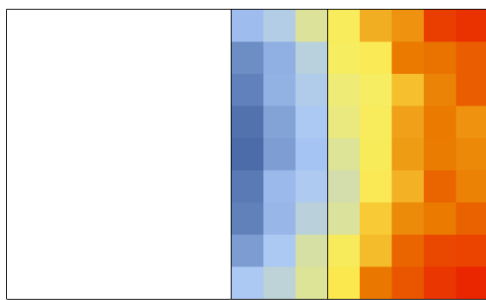


Figura VI.4.37. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low), CP1 - [%]

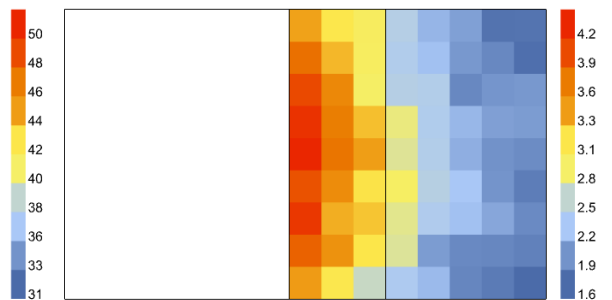


Figura VI.4.38. Daylight Factor (DF), CP1 - [%]

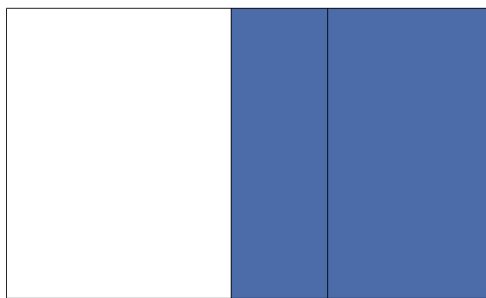


Figura VI.4.39. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up), CP2 - [%]

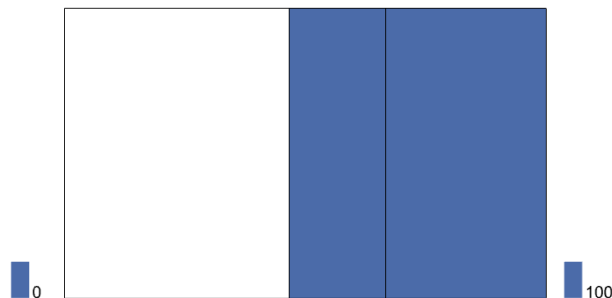


Figura VI.4.40. Glare Autonomy (GA), CP2 - [%]

4.3. CASO STUDIO COMPLESSO

Una volta determinati i programmi giornalieri di funzionamento del sistema di schermatura dinamica, sono state effettuate le medesime analisi per l'intera superficie degli uffici precedentemente analizzati, ampliando lo studio anche agli uffici del primo e secondo piano. Ciò è stato fatto per verificare il funzionamento della facciata per i piani superiori e per migliorare il comfort visivo dell'intero ambiente, in particolare nella parte più interna.

4.3.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

Tutti gli uffici presi in analisi hanno le medesime dimensioni di 21,50 x 13,50 m, ma con altezza interna utile totali differenti: 6,60 m al piano terra, 6,40 m al piano primo e 5,60 m al piano secondo. Nella parte antistante gli uffici sono presenti i corridoi distributivi di dimensione 3,50 x 13,50 m, con altezze interne utili pari a quelle dei piani corrispondenti. Essi presentano per ogni piano due facciate continue disposte sui lati maggiori: la prima verso l'esterno e la seconda verso gli uffici analogamente al test precedentemente effettuato. Inoltre, nella parte retrostante è stata presa in considerazione una porzione dello spazio distributivo che circonda l'Arena centrale, con dimensioni alla base di 10,00 m x 13,50 m e alla sommità di 6,00 m x 13,50 m.

4.3.2. MATERIALI

I materiali di rivestimento per gli uffici ed i corridoi andistanti rimangono i medesimi utilizzati nel caso studio semplificato, così come per i coefficienti di trasmittanza dei vetri. Per la porzione distributiva retrostante le pareti interne e il pavimento sono invece rivestiti con pasta cementizia, avente coefficiente di riflessione 0.4, mentre il soffitto presenta il medesimo stucco bianco utilizzato in precedenza. Lateralmente le pareti sono completamente vetrate, con una trasmittanza pari a 0.50 per simulare la luce proveniente dal resto della parte distributiva. Sulla sommità è presente con lucernario con trasmittanza di 0.80.

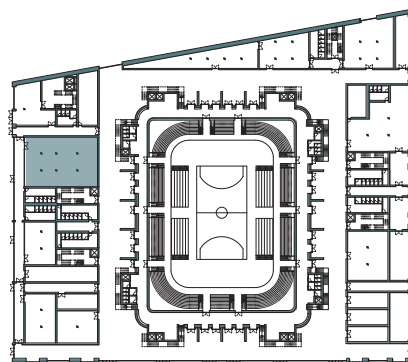


Figura VI.4.41. Pianta piano terra e individuazione uffici caso studio

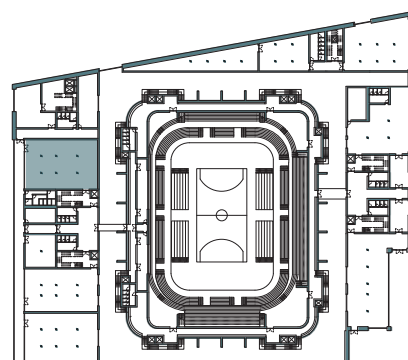


Figura VI.4.42. Pianta piano primo e individuazione uffici caso studio

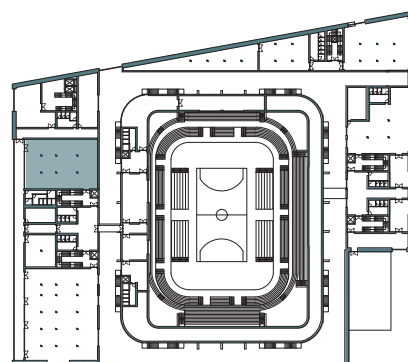


Figura VI.4.43. Pianta piano secondo e individuazione uffici caso studio

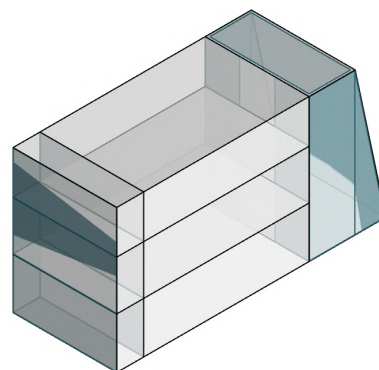


Figura VI.4.44. Assonometria del caso studio, modello Rhino

4.3.3. MODELLAZIONE

Anche le analisi per questo caso studio sono state realizzate tramite modellazione dei volumi e delle superfici vetrate in Rhino, e successivamente tramite il plug-in Honeybee per Grasshopper.

4.3.4. AMBIENTE DI ANALISI

Al fine di effettuare le successive analisi sono state utilizzate griglie di 43x27 sensori posizionate ad ogni piano. L'altezza rispetto a terra delle griglie nel caso di analisi sull'illuminamento e sull'abbagliamento sono le medesime del caso di studio precedente, così come per l'arco di tempo preso in esame.

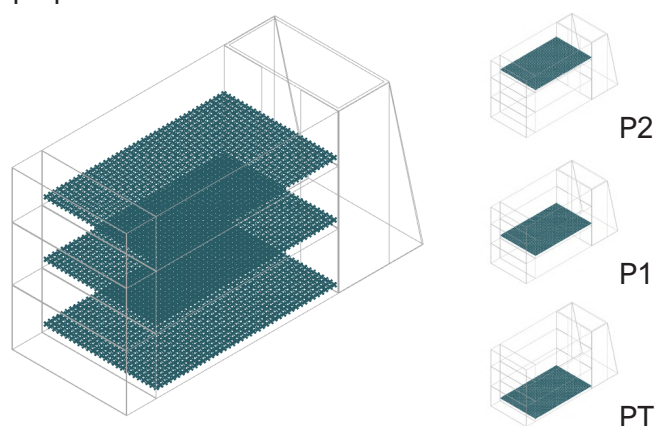


Figura VI.4.45. Identificazione griglie di sensori

4.3.5. TIPOLOGIE DI ANALISI

Anche per questo caso studio sono state condotte diverse analisi illuminotecniche, a partire dallo stato di fatto, fino all'individuazione delle configurazioni adatte per ogni fascia oraria nei giorni di analisi (21 dicembre, 21 giugno, 21 marzo e 23 settembre) per ogni piano della schermatura adattiva.

Le due macro categorie di analisi (annuali e puntuali) sono state mantenute come in precedenza.

4.3.6. VALUTAZIONE DELLO STATO DI FATTO

Riferimento tavole 154-162

L'analisi dello stato di fatto, in questo caso, è fondamentale in quanto permette di rilevare aspetti critici dell'ambiente di analisi che in precedenza non erano stati affrontati, in particolare per quanto riguarda la profondità degli uffici (21,50 m). Le prime strategie sono state quindi incentrate sul miglioramento dell'illuminamento della parte centrale, per poi applicare la facciata adattiva con le caratteristiche individuate grazie agli studi condotti sul caso studio semplificato, al fine di determinarne il funzionamento il più fedele possibile a quello di progetto.

Si riportano quindi le analisi annuali dei piani studiati, rimandando invece alle tavole per le analisi puntuali dell'illuminamento.

ANALISI ANNUALI - STATO DI FATTO PT
 Riferimento tavola 152-154

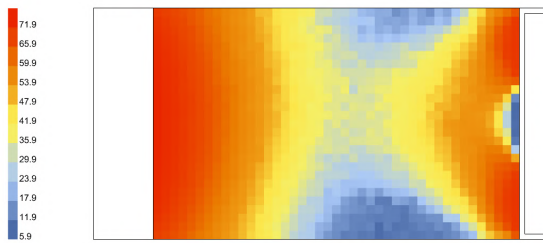
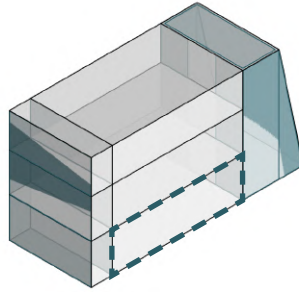


Figura VI.4.46. Daylight Autonomy (DA) - [%]



Figura VI.4.47. Spatial Daylight Autonomy (sDA) - [%]

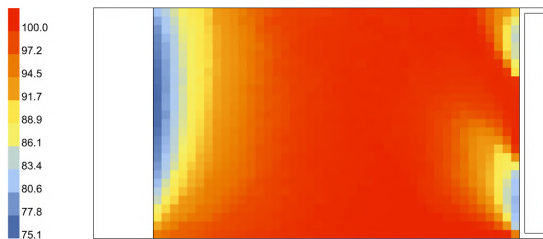


Figura VI.4.48. Glare Autonomy (GA) - [%]

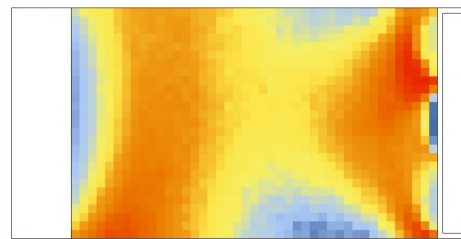


Figura VI.4.49. Useful Daylight Illuminance (UDI) - [%]

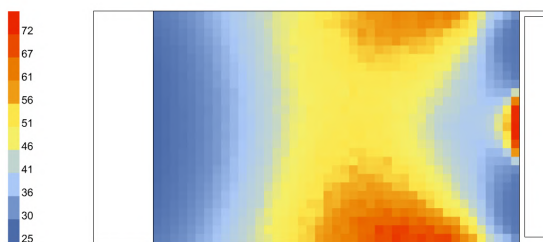


Figura VI.4.50. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]

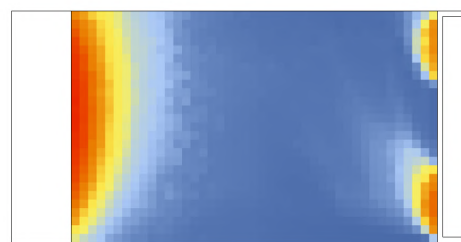


Figura VI.4.51. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]

ANALISI ANNUALI - STATO DI FATTO P1
 Riferimento tavola 155-157

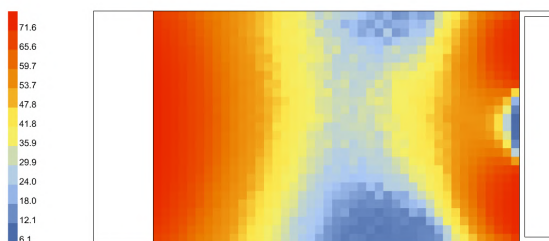
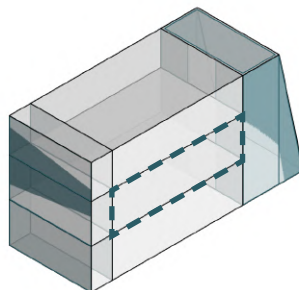


Figura VI.4.52. Daylight Autonomy (DA) - [%]



Figura VI.4.53. Spatial Daylight Autonomy (sDA) - [%]

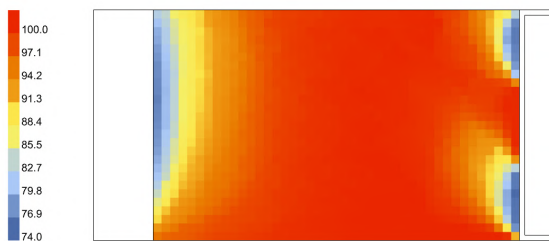


Figura VI.4.54. Glare Autonomy (GA) - [%]

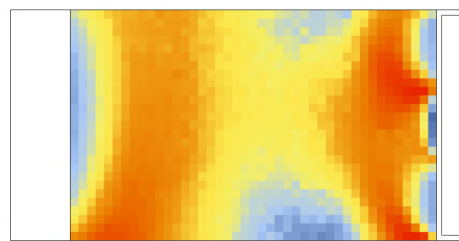


Figura VI.4.55. Useful Daylight Illuminance (UDI) - [%]

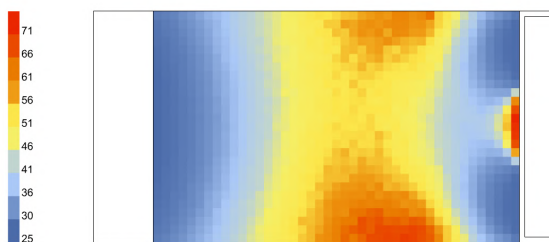


Figura VI.4.56. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]



Figura VI.4.57. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]

ANALISI ANNUALI - STATO DI FATTO P2

Riferimento tavola 158-160

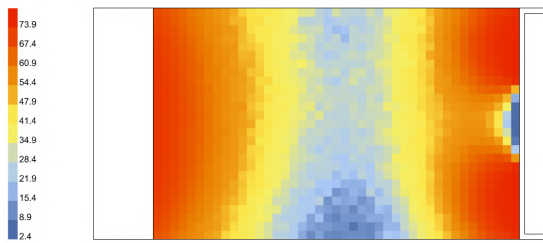
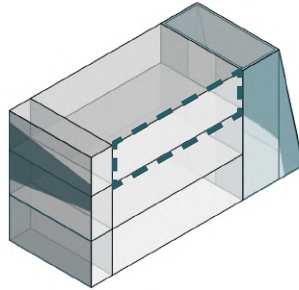


Figura VI.4.58. Daylight Autonomy (DA) - [%]



Figura VI.4.59. Spatial Daylight Autonomy (sDA) - [%]



Figura VI.4.60. Glare Autonomy (GA) - [%]

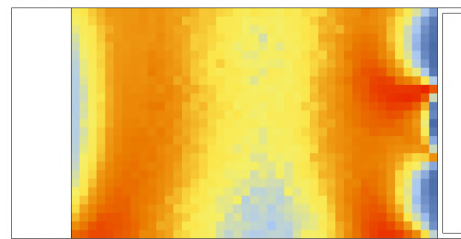


Figura VI.4.61. Useful Daylight Illuminance (UDI) - [%]

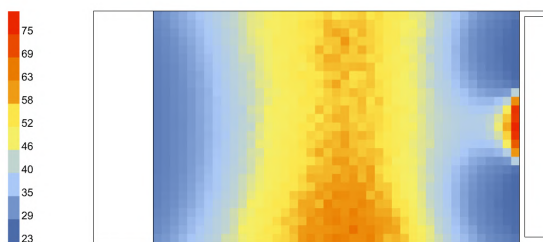


Figura VI.4.62. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]

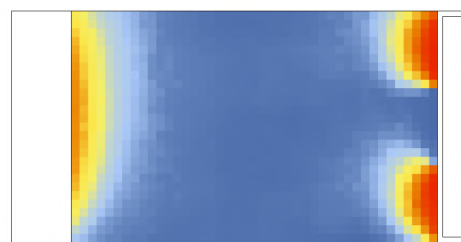


Figura VI.4.63. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]

4.3.7. STEP DI ANALISI

A partire dalle valutazioni effettuate per lo stato di fatto, è stata dapprima modificata la geometria degli uffici per ottenere un sufficiente illuminamento nella parte centrale, eseguendo un processo iterativo per cui a ogni modifica sono state ripetute le analisi illuminotecniche, al fine di valutarne l'efficacia.

Solo successivamente è stato applicato il sistema di schermatura dinamico ottenuto dal caso studio precedente, il quale è stato nuovamente ottimizzato con ulteriori passaggi.

Ogni variazione del sistema ha comportato quindi la definizione di specifici step di analisi.

STEP 1: APERTURA CENTRALE

Riferimento tavole 161-169

Come accennato precedentemente, il primo passo è stato quello di fornire un adeguato livello di illuminamento nella parte centrale. È stata quindi realizzata un'apertura distribuita su tutti i piani analizzati, di dimensione 4,50 m x 10,20 m, in corrispondenza dei pilastri strutturali.

Tale apertura fornisce però eccessivi valori di illuminamento, causando anche abbagliamento in particolare al secondo piano.

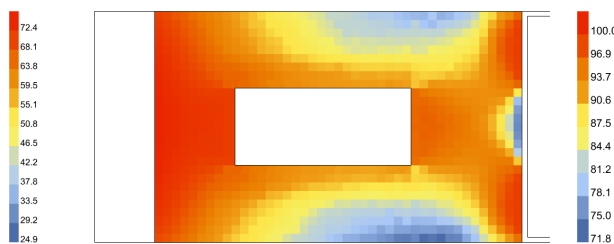
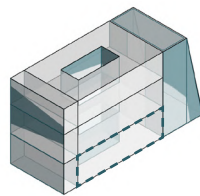


Figura VI.4.64. Daylight Autonomy (DA) - [%]

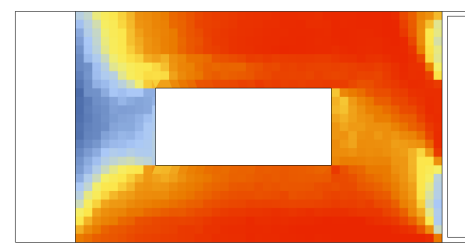


Figura VI.4.65. Glare Autonomy (GA) - [%]

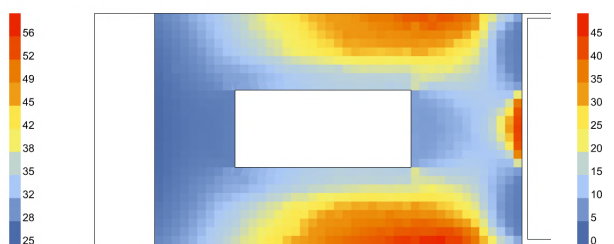


Figura VI.4.66. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]

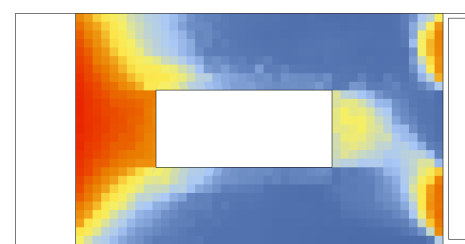


Figura VI.4.67. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]

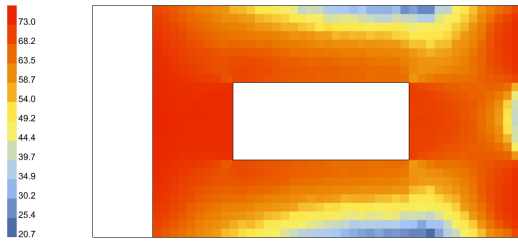
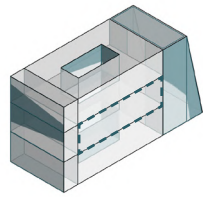


Figura VI.4.68. Daylight Autonomy (DA) - [%]

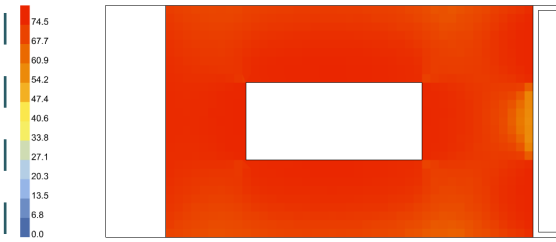
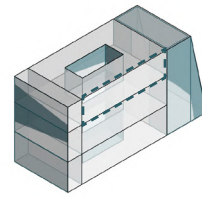


Figura VI.4.69. Daylight Autonomy (DA) - [%]

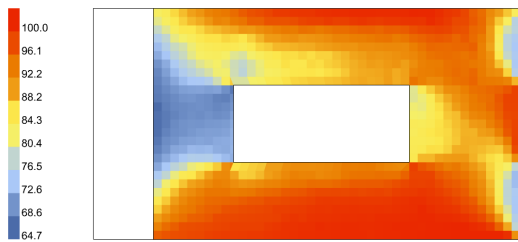


Figura VI.4.70. Glare Autonomy (GA) - [%]

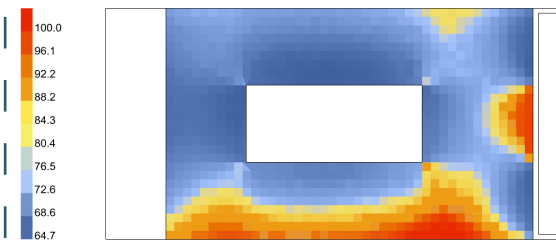


Figura VI.4.71. Glare Autonomy (GA) - [%]

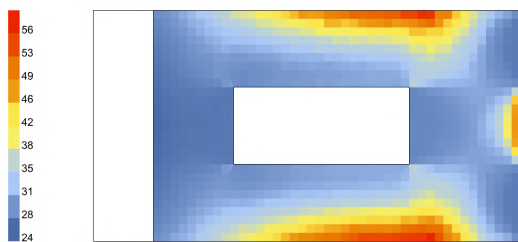


Figura VI.4.72. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]

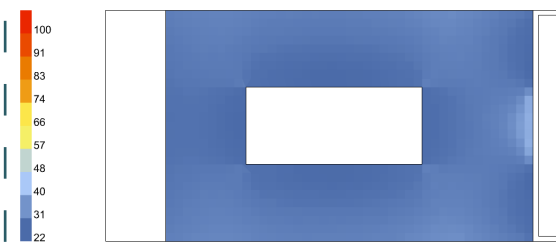


Figura VI.4.73. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]

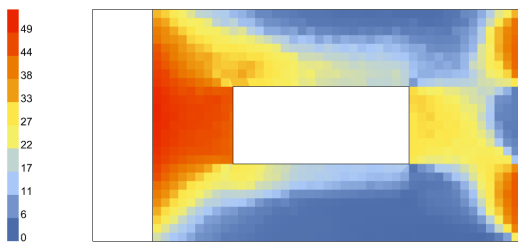


Figura VI.4.74. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]

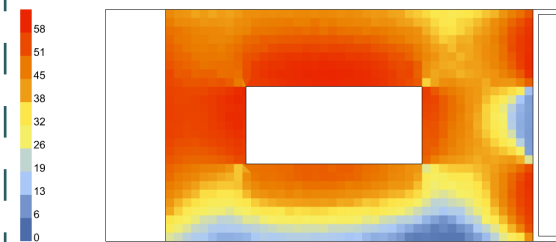


Figura VI.4.75. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]

STEP 2: POSIZIONAMENTO SOPPALCHI

Riferimento tavole 170-178

Avendo diminuito lo spazio disponibile per gli uffici nello step precedente, ma volendo al tempo stesso mantenere la metratura richiesta dal Manuale Tecnico pubblicato dal Comitato Olimpico nel 2005, è stato valutato l'inserimento di piani soppalcati nei differenti piani. Nell'ipotesi di maggiore estensione, essi avranno una distanza dai muri perimetrali di 1,50 m e saranno disposti attorno all'apertura centrale. Inoltre avranno diverse altezze dal suolo: 3,10 m al piano terra e primo piano; 2,80 m al secondo piano.

I rivestimenti utilizzati sono i medesimi scelti per gli uffici.

L'inserimento dei piani soppalcati ha inoltre comportato un miglioramento del comfort visivo, andando a mitigare gli effetti maggiori di abbagliamento e sovra-illuminamento dati dall'apertura centrale, sebbene creando situazioni di scarso illuminamento lungo i lati maggiori degli uffici al piano primo. Tale condizione però porta comunque ad avere livelli di illuminamento accettabile in alcuni periodi dell'anno, come si può notare dalle analisi del 21 giugno e 23 settembre, mitigando così gli effetti negativi.

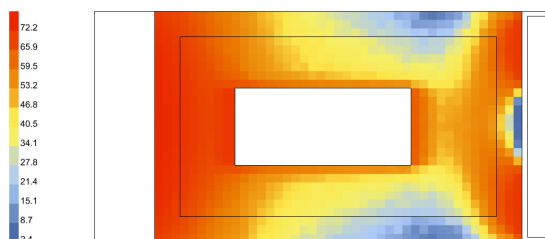
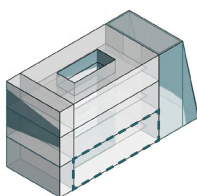


Figura VI.4.76. Daylight Autonomy (DA) - [%]

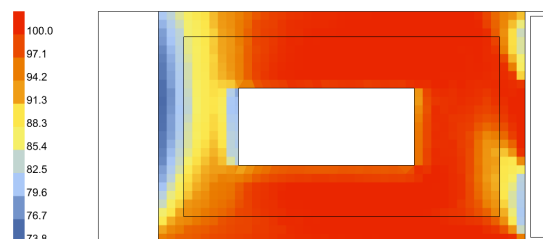


Figura VI.4.77. Glare Autonomy (GA) - [%]

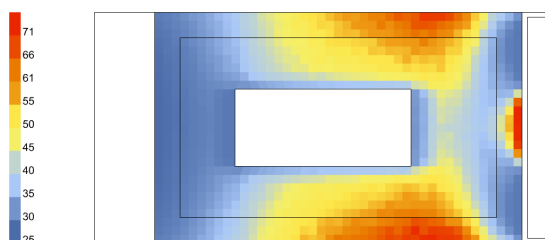


Figura VI.4.78. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]

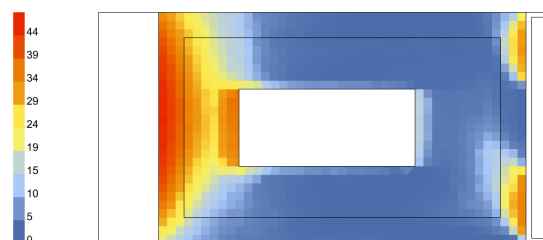


Figura VI.4.79. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]

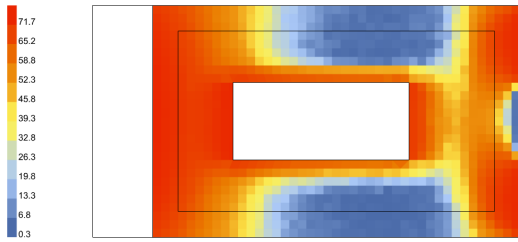
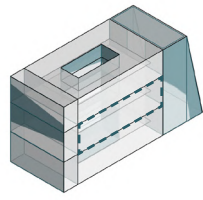


Figura VI.4.80. Daylight Autonomy (DA) - [%]

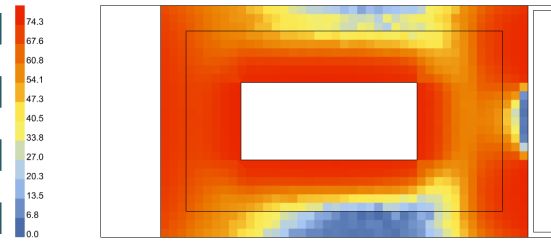
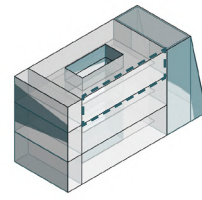


Figura VI.4.81. Daylight Autonomy (DA) - [%]

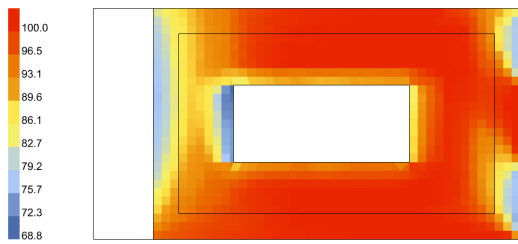


Figura VI.4.82. Glare Autonomy (GA) - [%]

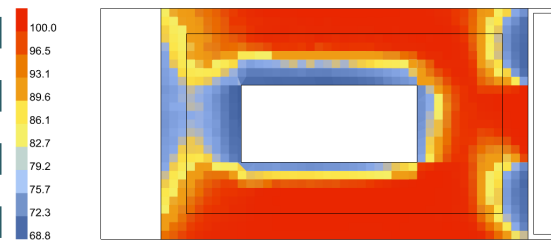


Figura VI.4.83. Glare Autonomy (GA) - [%]

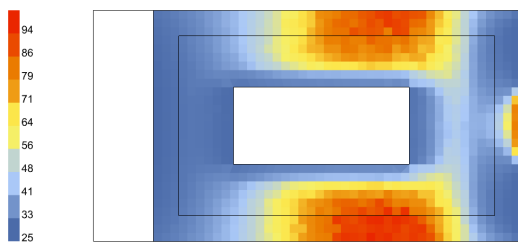


Figura VI.4.84. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]

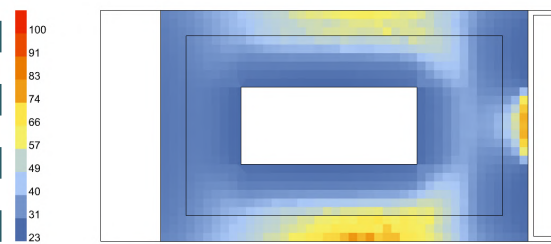


Figura VI.4.85. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]

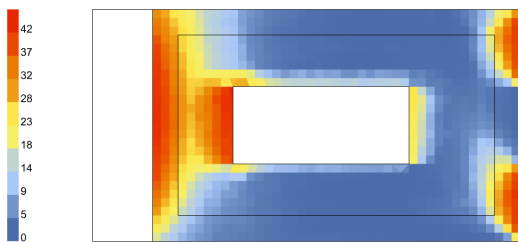


Figura VI.4.86. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]

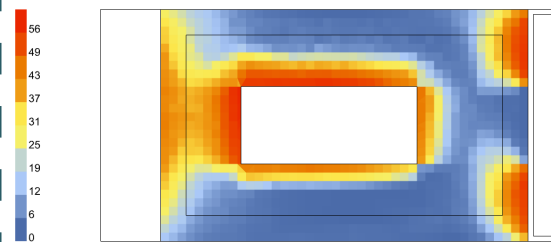


Figura VI.4.87. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]

STEP 3: SCHERMATURA APERTURE EST

Riferimento tavole 179-187

Una volta mitigati i maggiori effetti di discomfort nell'ambiente interno, ci si è concentrati sul miglioramento puntuale delle rimanenti condizioni di abbagliamento e sovra-illuminamento, partendo dal posizionamento di schermature fisse lungo le finestrate posizionate a Est, ovvero verso lo spazio di circolazione dell'arena centrale.

Sono state quindi posizionate lamelle verticali di larghezza 25 cm ed altezza pari alle aperture, con passo di 20 cm ed inclinazione di 0°, ovvero perpendicolari. Esse sono inoltre racchiuse in una cornice posizionata lungo i bordi delle finestrate di profondità 30 cm.

Tali schermature hanno migliorato ulteriormente l'illuminamento degli ambienti, diminuendo la possibilità di abbagliamento nelle zone adiacenti, senza però diminuire eccessivamente l'illuminamento.

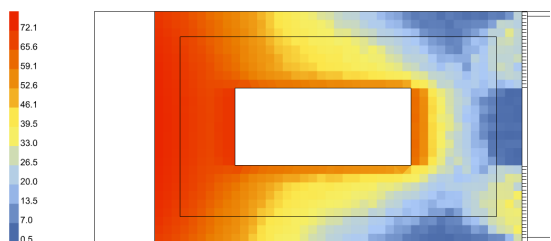
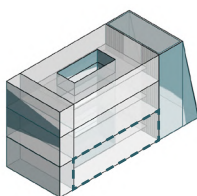


Figura VI.4.88. Daylight Autonomy (DA) - [%]

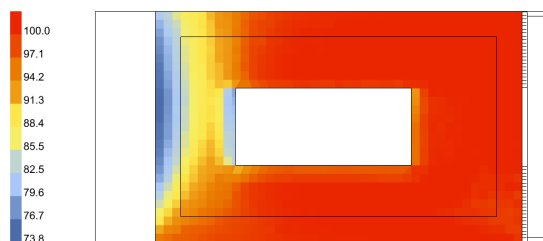


Figura VI.4.89. Glare Autonomy (GA) - [%]

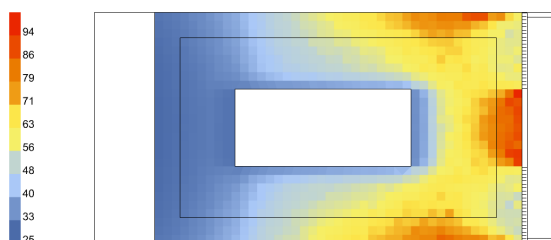


Figura VI.4.90. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]

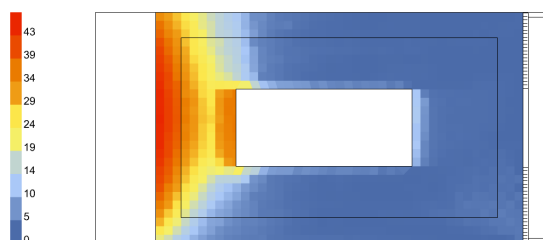


Figura VI.4.91. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]

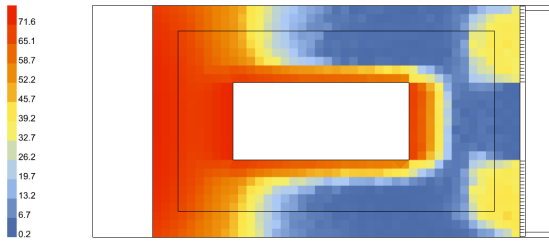
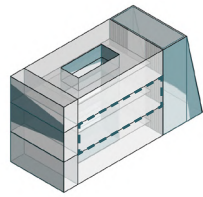


Figura VI.4.92. Daylight Autonomy (DA) - [%]

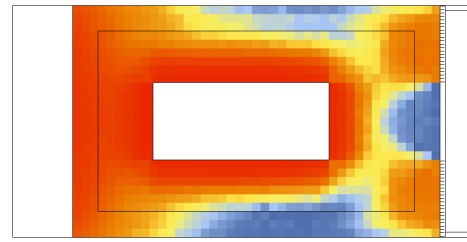
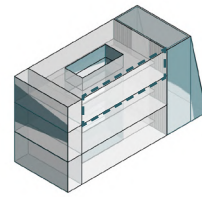


Figura VI.4.93. Daylight Autonomy (DA) - [%]

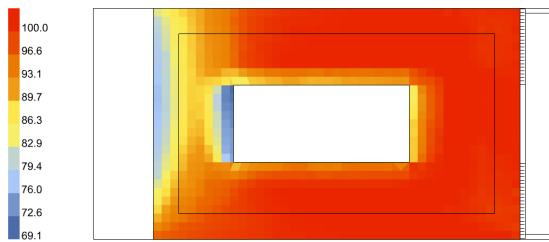


Figura VI.4.94. Glare Autonomy (GA) - [%]

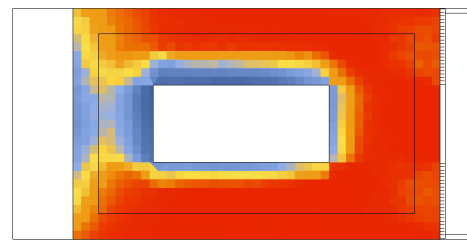


Figura VI.4.95. Glare Autonomy (GA) - [%]

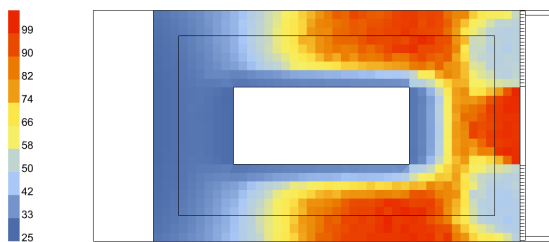


Figura VI.4.96. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]

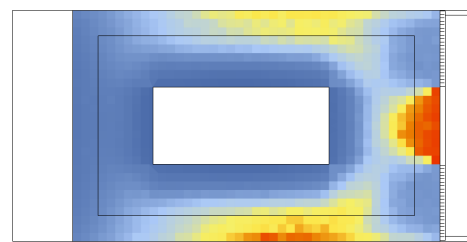


Figura VI.4.97. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]

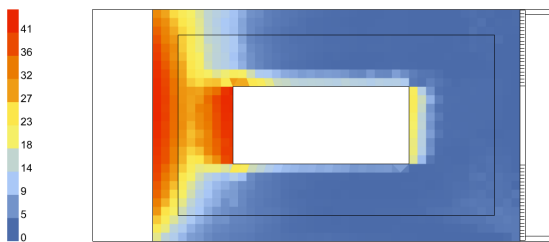


Figura VI.4.98. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]

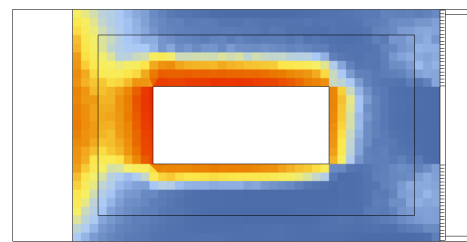


Figura VI.4.99. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]

STEP 4: SCHERMATURA APERTURA CENTRALE

Riferimento tavole 188-196

Successivamente sono state posizionate lamelle verticali in corrispondenza dell'apertura centrale (larghezza 30 cm, passo 40 cm, inclinazione di 0°), in maniera tale da diminuire ulteriormente le situazioni di discomfort, pur mantenendo un illuminamento adeguato. Inoltre le schermature sul lato Est sono state inclinate di 15° per mitigare il più possibile i rimanenti casi di abbagliamento.

Come prevedibile, è stato registrato un peggioramento dell'illuminamento in alcune zone degli ambienti, soprattutto al primo piano, mentre al secondo piano persistono condizioni di sovra-illuminamento nonostante la schermatura.

Tuttavia, ci si sta avvicinando all'obiettivo primario di minimizzazione dell'abbagliamento e di non superamento della soglia massima di illuminamento.

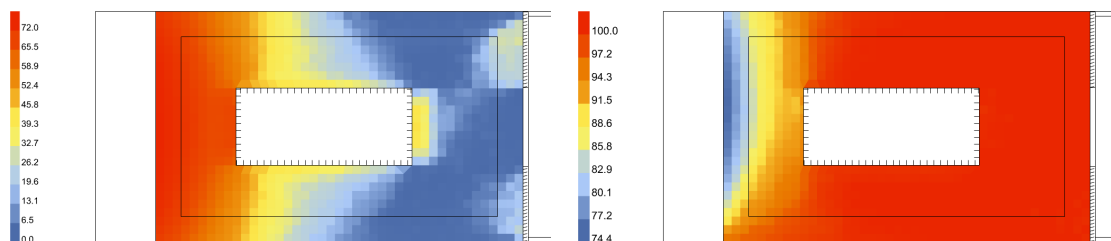
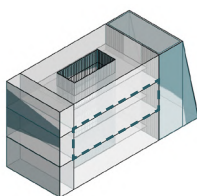


Figura VI.4.100. Daylight Autonomy (DA) - [%] Figura VI.4.101. Glare Autonomy (GA) - [%]

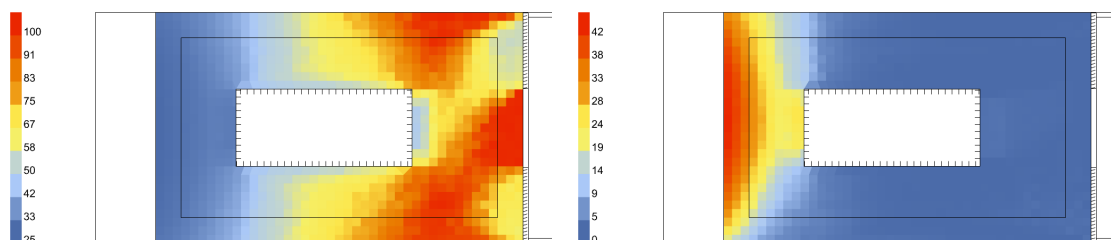


Figura VI.4.102. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]

Figura VI.4.103. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]

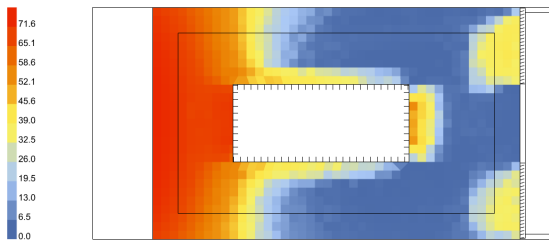
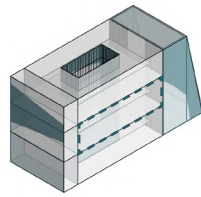


Figura VI.4.104. Daylight Autonomy (DA) - [%]

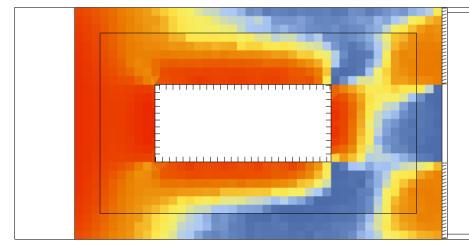
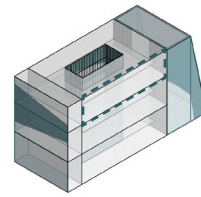


Figura VI.4.105. Daylight Autonomy (DA) - [%]

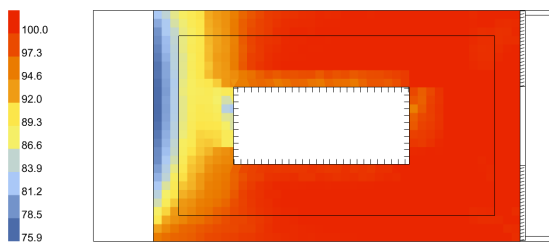


Figura VI.4.106. Glare Autonomy (GA) - [%]

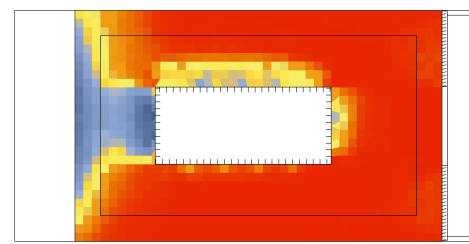


Figura VI.4.107. Glare Autonomy (GA) - [%]

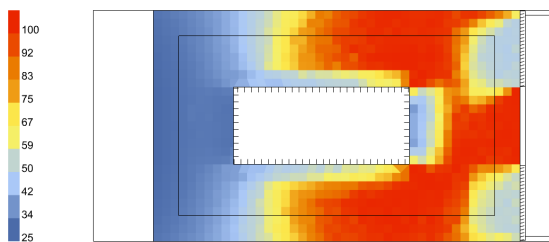


Figura VI.4.108. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]

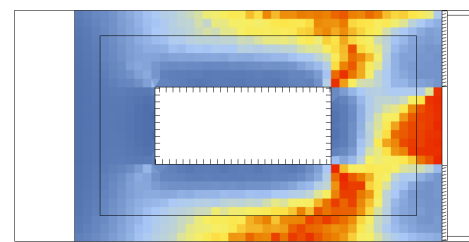


Figura VI.4.109. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]

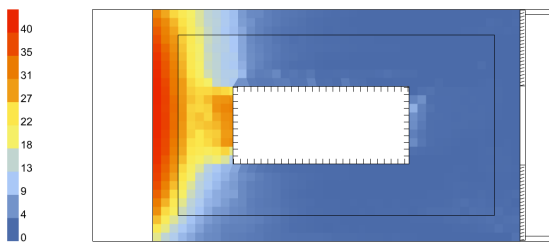


Figura VI.4.110. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]

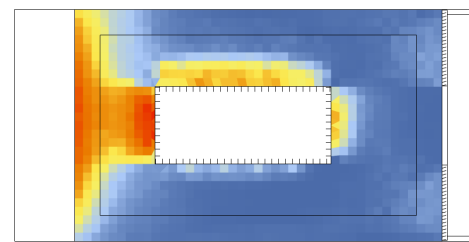


Figura VI.4.111. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]

STEP 5: APPLICAZIONE SCHERMATURA CASO SEMPLIFICATO

Riferimento tavole 197-214

A questo punto è stata applicata la schermatura dinamica ottenuta dal caso semplificato, ovvero con trasmittanza luminosa del PTFE pari a 0,3 e distante 60 cm dalla facciata. Al fine di verificare tali le caratteristiche, sono state condotte le analisi per le sole configurazioni di progetto CP1 (totalmente chiuso) e CP2 (totalmente aperto). Inoltre, le schermature verticali applicate all'apertura centrale sono state inclinate di 30° per mitigare il più possibile i rimanenti casi di abbagliamento.

Come si può notare dalle analisi effettuate, in particolare nel caso di moduli totalmente aperti, si verificano situazioni di sovra-illuminamento dovute alla trasmittanza luminosa del materiale del sistema dinamico. Inoltre, l'inclinazione delle lamelle verticali applicate all'apertura centrale, sebbene comporti una riduzione dei fenomeni di abbagliamento, riduce notevolmente l'illuminamento, in particolare al piano terra e primo piano.

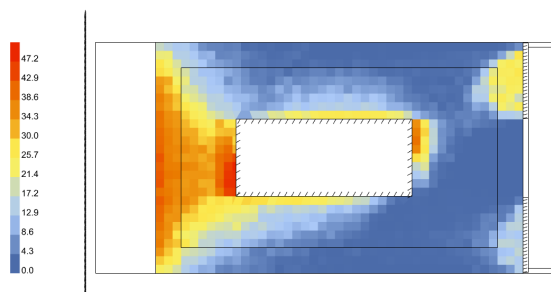
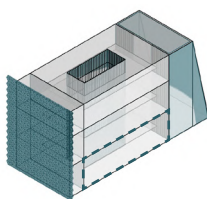


Figura VI.4.112. Daylight Autonomy (DA) - [%]

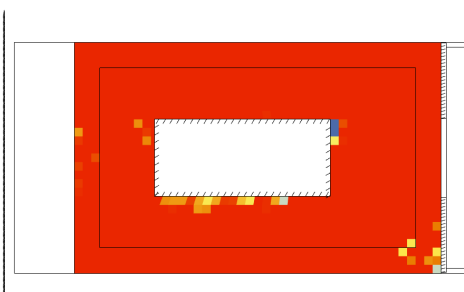


Figura VI.4.113. Glare Autonomy (GA) - [%]

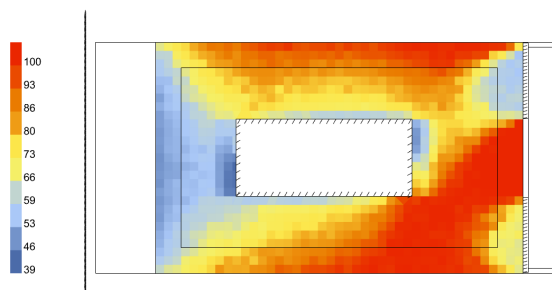


Figura VI.4.114. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]

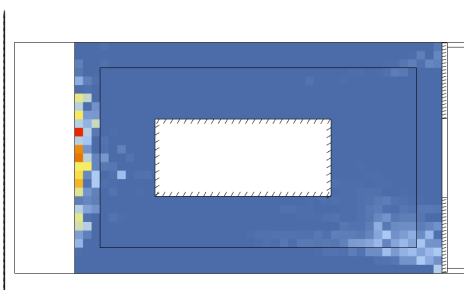


Figura VI.4.115. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]

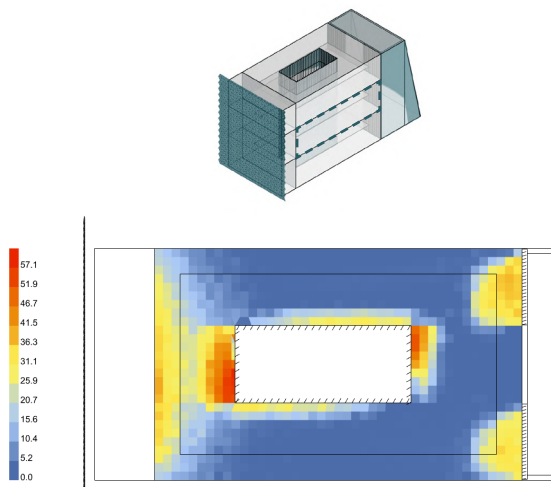


Figura VI.4.116. Daylight Autonomy (DA) - [%]

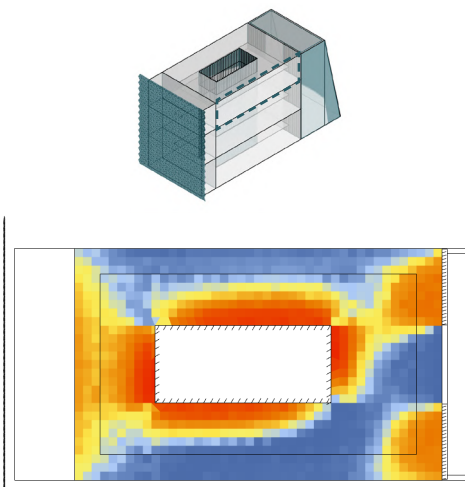


Figura VI.4.117. Daylight Autonomy (DA) - [%]

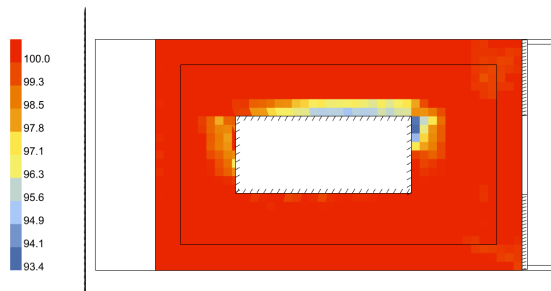


Figura VI.4.118. Glare Autonomy (GA) - [%]

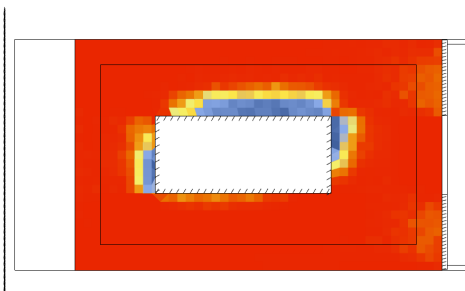


Figura VI.4.119. Glare Autonomy (GA) - [%]

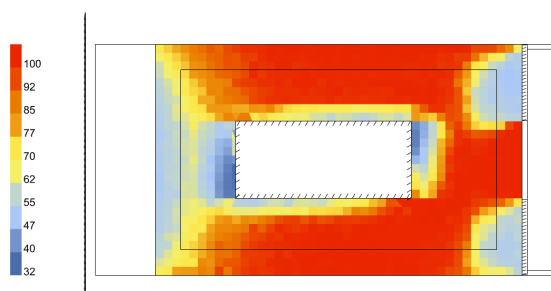


Figura VI.4.120. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]

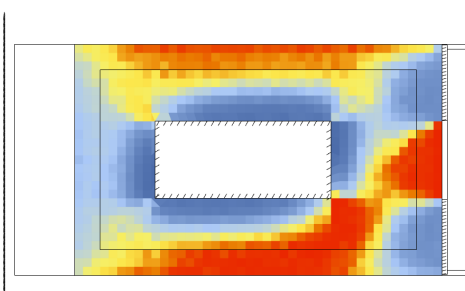


Figura VI.4.121. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]

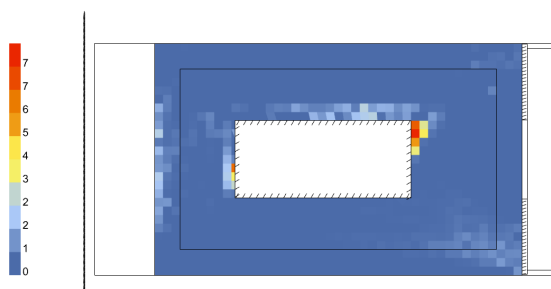


Figura VI.4.122. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]

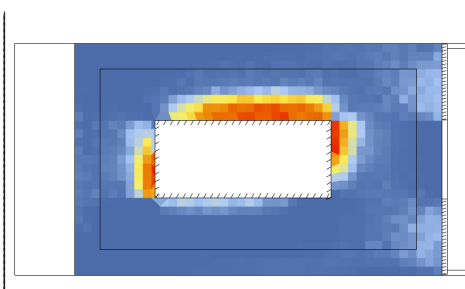


Figura VI.4.123. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]

STEP 6: ASSETTO FINALE E SCELTA CONFIGURAZIONI

Riferimento tavole 215-262

Al fine di evitare situazioni di sovra-illuminamento e abbagliamento, è stata abbassata la trasmittanza luminosa del PTFE a 0,2. Inoltre, l'inclinazione delle lamelle verticali applicate all'apertura centrale è stata ridotta a 15°, in maniera tale da permettere al piano terra e al piano primo di avere maggiore illuminamento.

Al piano secondo invece, sebbene siano state ridotte le dimensioni degli skylight dell'apertura centrale e del corridoio distributi dell'arena, permangono situazioni di abbagliamento e sovra-illuminamento. Saranno pertanto utilizzate soluzioni di schermatura interna attivabili dagli utenti.

Sono state quindi condotte le analisi illuminotecniche per tutte le configurazioni di progetto, ed è stato così possibile elaborare un cronoprogramma di funzionamento della facciata per i giorni selezionati.

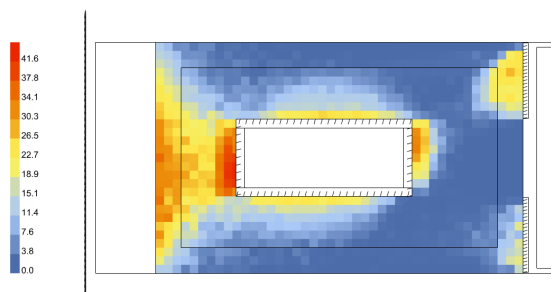
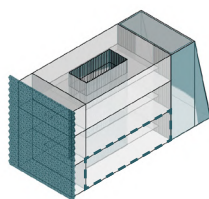


Figura VI.4.124. Daylight Autonomy (DA) - [%]

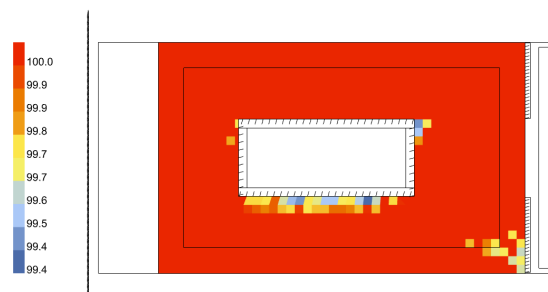


Figura VI.4.125. Glare Autonomy (GA) - [%]

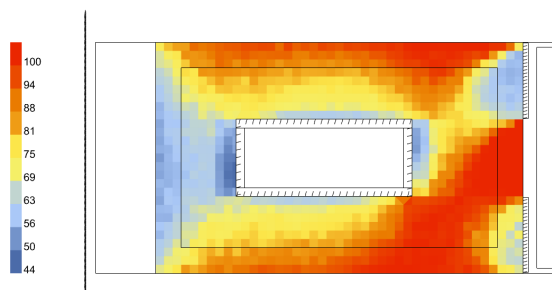


Figura VI.4.126. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]

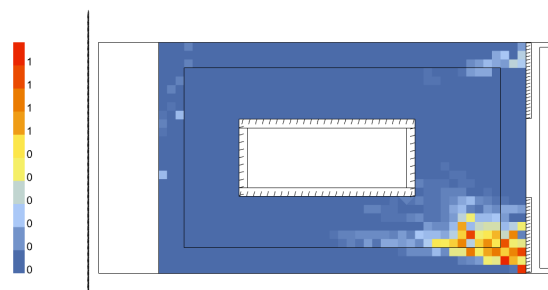


Figura VI.4.127. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]

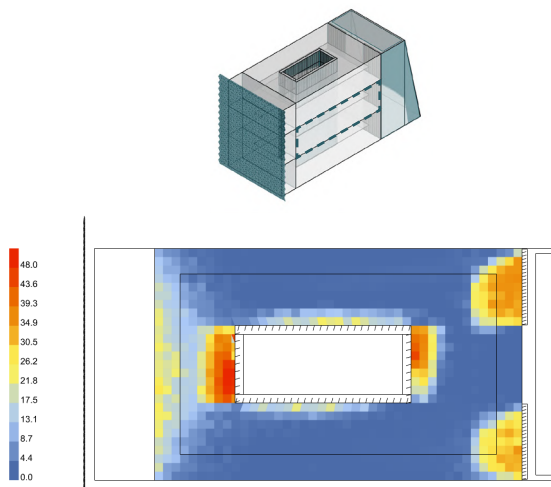


Figura VI.4.128. Daylight Autonomy (DA) [%]

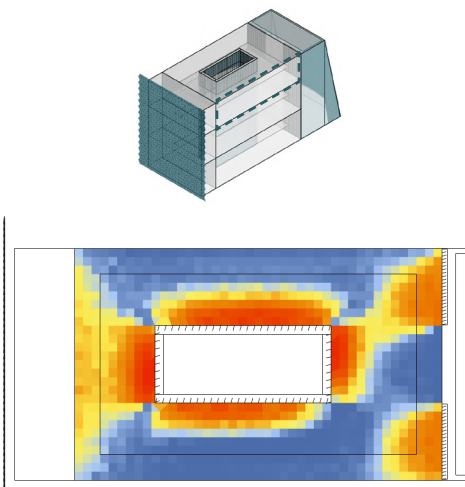


Figura VI.4.129. Daylight Autonomy (DA) - [%]

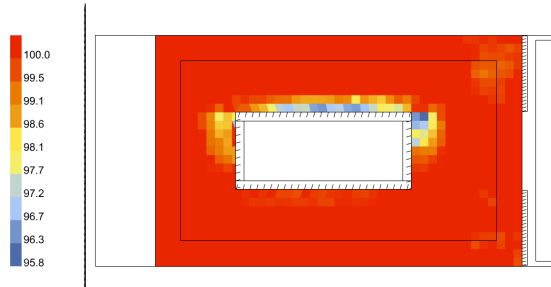


Figura VI.4.130. Glare Autonomy (GA) - [%]

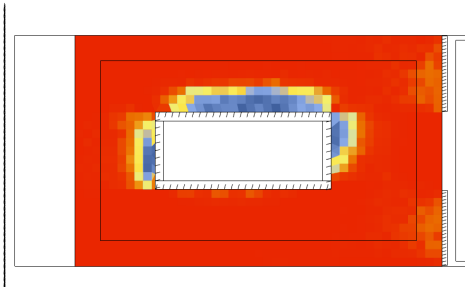


Figura VI.4.131. Glare Autonomy (GA) - [%]

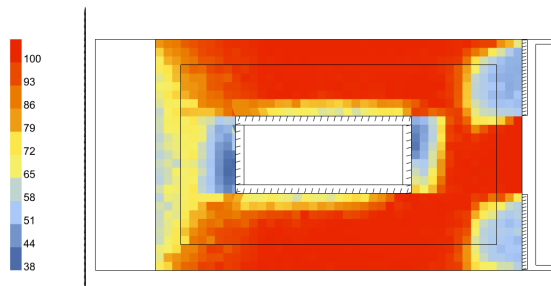


Figura VI.4.132. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]

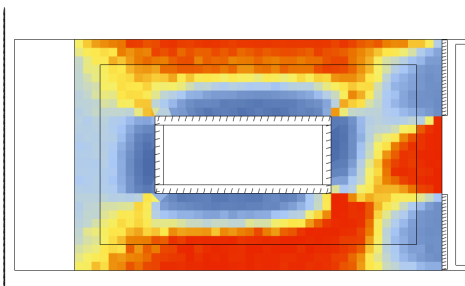


Figura VI.4.133. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]

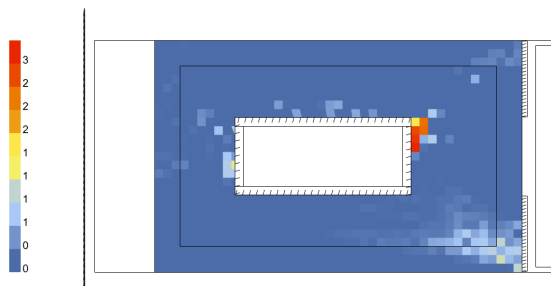


Figura VI.4.134. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]

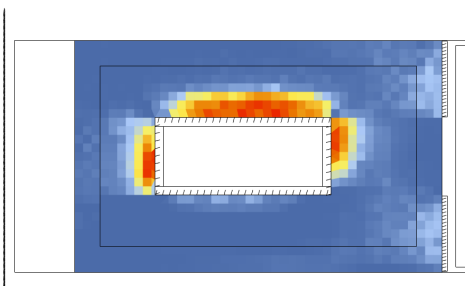
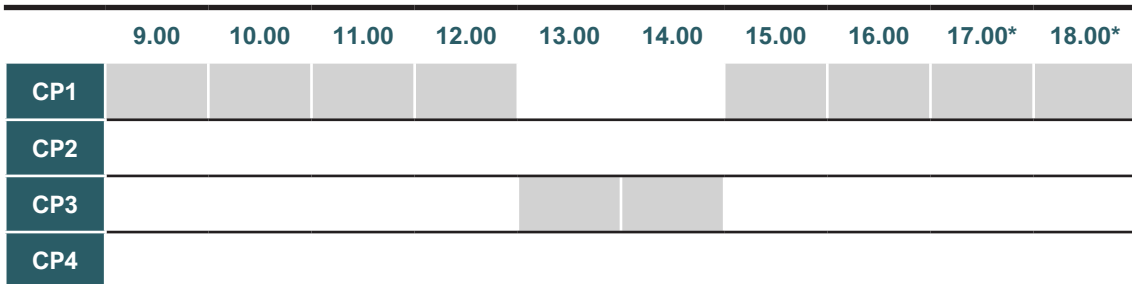
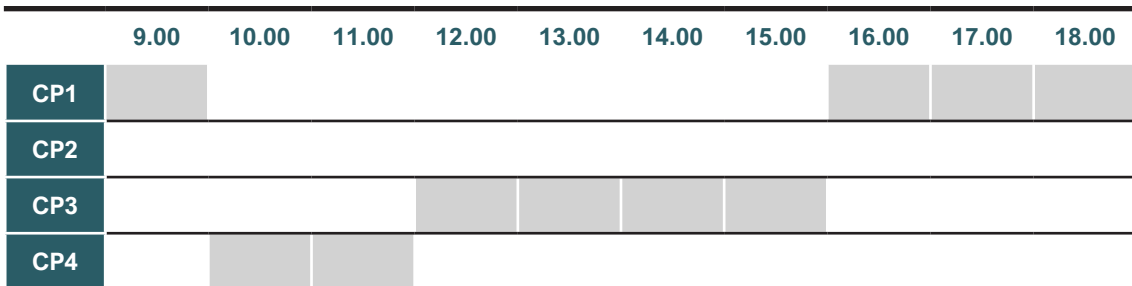


Figura VI.4.135. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]

PIANO PRIMO

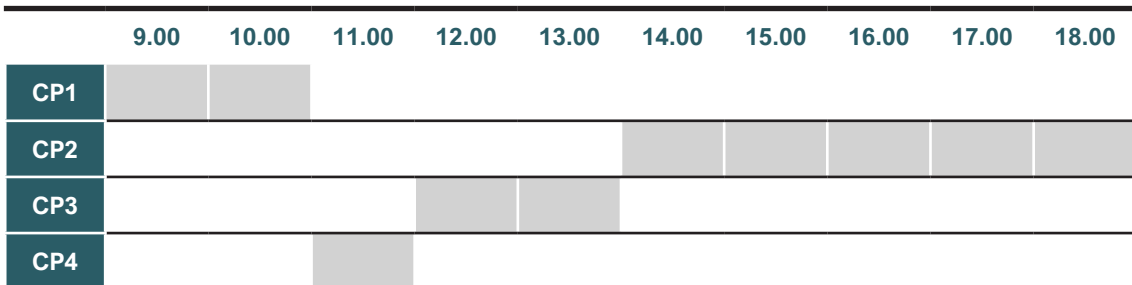


PIANO SECONDO

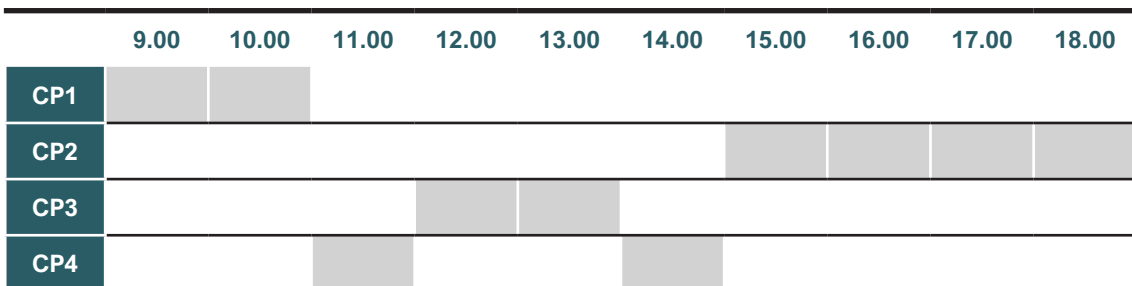


21 GIUGNO

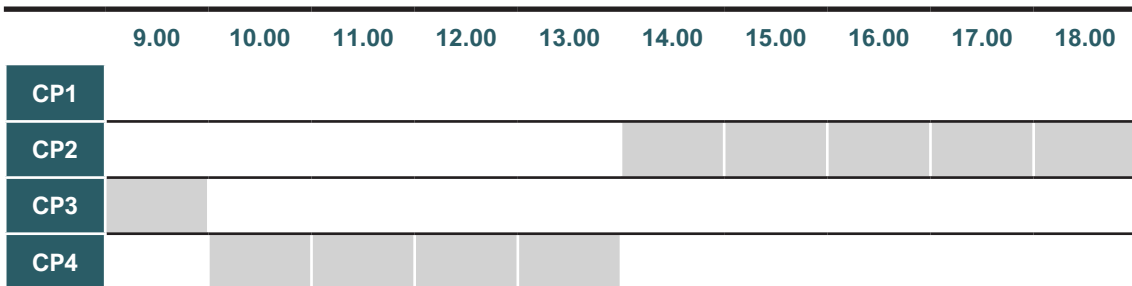
PIANO TERRA



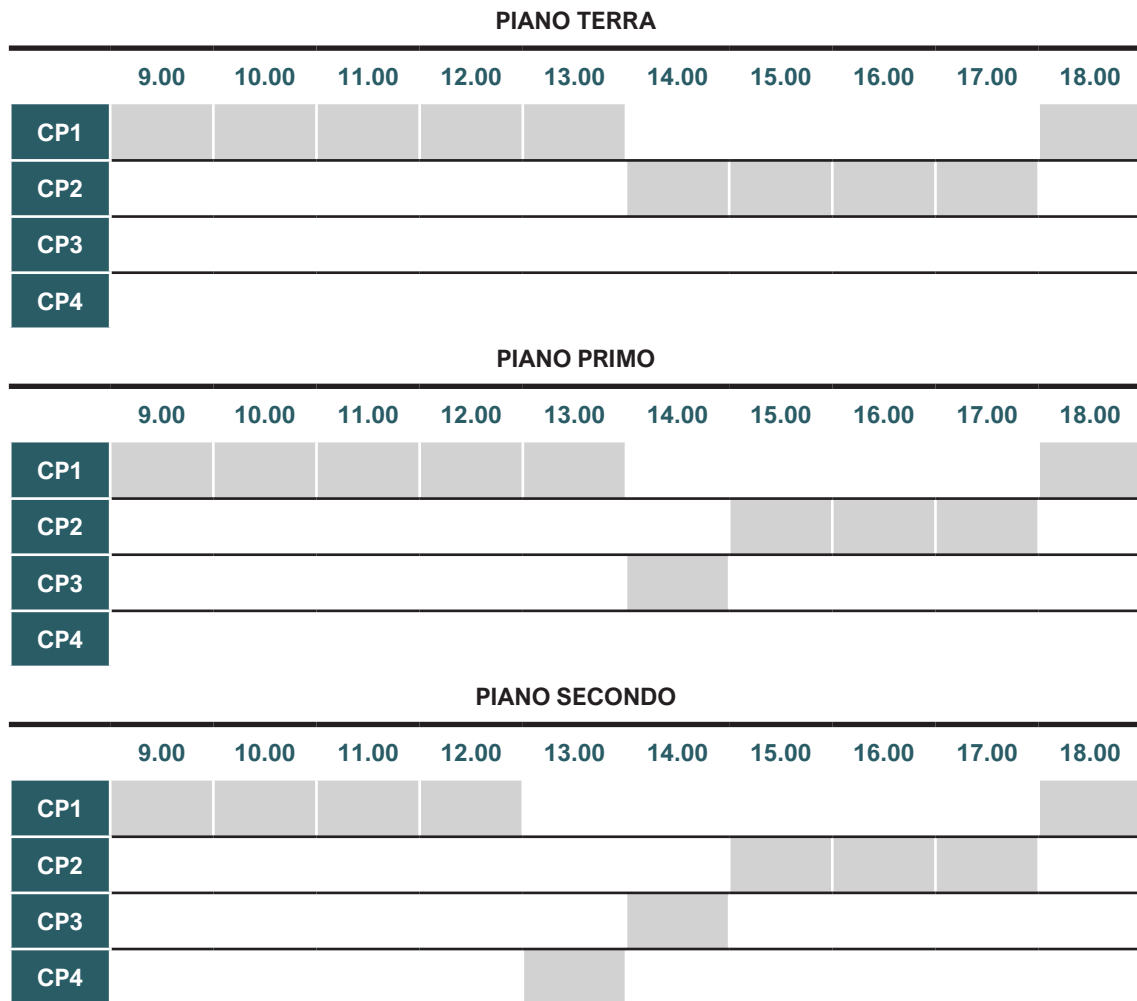
PIANO PRIMO



PIANO SECONDO



23 SETTEMBRE



4.4. CONCLUSIONI

Come si può notare dalle tabelle delle configurazioni scelte per il caso studio complesso, durante la maggior parte dei giorni selezionati è emerso un notevole dinamismo per il sistema di schermatura, il quale mostra configurazioni differenti in particolare tra i primi due piani di uffici ed il secondo piano.

Raccogliendo infine tutti i risultati, è possibile stabilire la percentuale di funzionamento di ogni configurazione durante i giorni di analisi. Partendo dal 21 dicembre, la configurazione CP1 funziona al 100% durante l'intervallo di tempo delle analisi. Passando al 21 marzo si ha una prima diversificazione delle configurazioni, con la percentuale di CP1 che si abbassa al 67%, mentre quelle delle configurazioni CP3 e CP4 si alzano rispettivamente

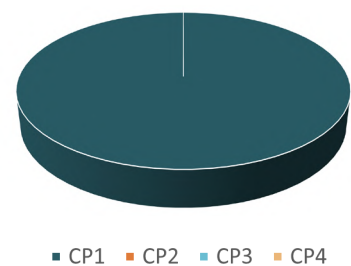


Figura VI.4.136. Funzionamento configurazioni, 21 dicembre

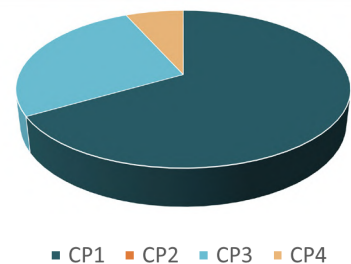


Figura VI.4.137. Funzionamento configurazioni, 21 marzo

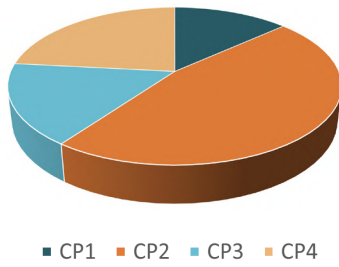


Figura VI.4.138. Funzionamento configurazioni, 21 giugno

te al 27% e 7%.

Durante il 21 giugno prevale invece la configurazione CP2 al 47%, mentre la CP1 diminuisce nuovamente al 13% e le rimanenti configurazioni funzionano al 17% per la CP3 e al 23% per la CP4.

Infine, durante il 23 settembre, risale la percentuale della configurazione CP1 al 57%, mentre le rimanenti CP2, CP3 e CP4 funzionano rispettivamente al 33%, 7% e 3%.

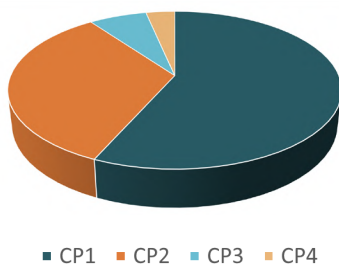


Figura VI.4.139. Funzionamento configurazioni, 23 settembre

Come ultimo passo è stato valutato il funzionamento totale delle quattro configurazioni. La CP1 ha la percentuale maggiore di funzionamento con il 59%, seguita dalla CP2 al 20%, la CP3 al 13% e la CP4 al 8%.

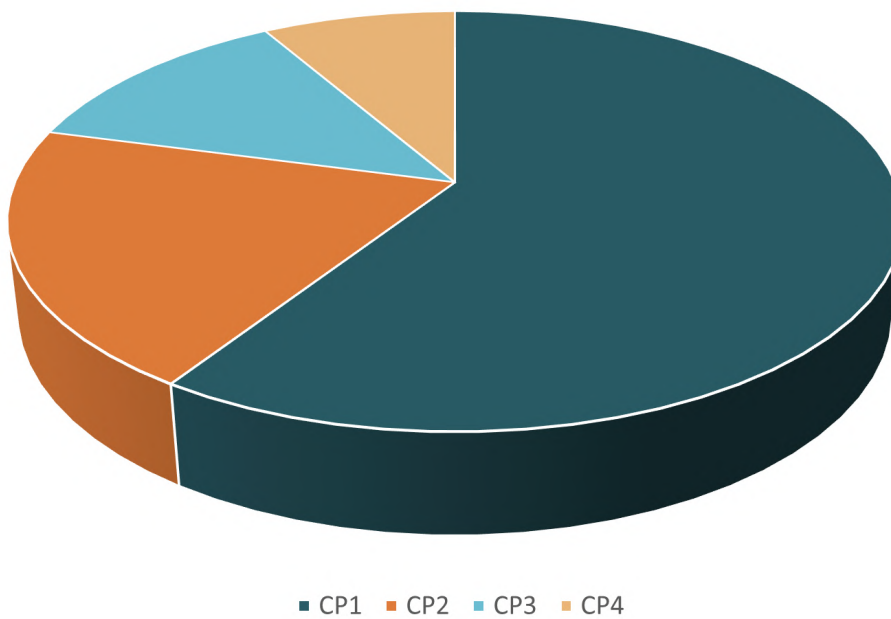


Figura VI.4.140. Funzionamento configurazioni

4.5. PROGRAMMAZIONE ATTUATORE DI MOVIMENTO

4.5.1. SCRITTURA DEL PROGRAMMA

Al fine di implementare il cronoprogramma di funzionamento del sistema cinetico, si è scelto di sviluppare una prima programmazione dell'attuatore che permette il movimento. Al fine di coprire le diverse configurazioni evidenziate nelle analisi illuminotecniche ed energetiche, vengono introdotti input come discriminanti di apertura o chiusura del sistema, in modo ripercorrere il ciclo durante una giornata lavorativa di 8 ore all'interno degli uffici nel blocco ovest dell'edificio.

Viene utilizzato il software Python per creare uno script di funzionamento, che affiancato da rilevazioni di temperatura e illuminamento interno, permette di avere come output lo stato dell'ombrello nell'arco della giornata. Successivamente questi dati in uscita vengono inseriti in Grasshopper in modo da permettere il movimento del sistema: la lettura dell'attuatore avviene tramite un timer, ogni 1 minuto e 10 secondi, in modo da non avere oscillazioni troppo veloci o possibili interferenze nel movimento.

Il dataset si basa sull'arco di una giornata, in cui l'ombrello rimane chiuso durante l'intera mattinata (`status_umbrella = 0`), per permettere alla radiazione diffusa di entrare negli ambienti di lavoro. Stesso ragionamento avviene a fine giornata, quando il sole tramonta.

Successivamente il sistema segue delle condizioni critiche per avviare il meccanismo:

- temperatura critica all'interfaccia fra LSC e sistema cinetico non deve superare i 30°C per più di 1 ora (fusione del LSC), altrimenti l'ombrello si apre. Quest'ultimo si richiude solamente se la temperatura scende al di sotto di 25°C;
- illuminamento interno se scende sotto la soglia di 500 lux (limite per la visibilità negli spazi di lavoro) l'ombrello viene chiuso;
- illuminamento interno non deve superare i 2000 lux (abbagliamento), se questo accade l'ombrello viene aperto. In tal caso la condizione di emergenza permane fino a che per mezz'ora consecutiva non si registra un valore inferiore ai 2000 lux.

4.5.2. LOGICA DI LAVORO

Vengono impostate quindi impostate le variabili temperatura e illuminamento, per cui le condizioni iniziali del sistema sono:

```
var_lux = None
var_temp = None
status_umbrella = 0
alert_temp = 0
emergency = 0
high_lux = 0
count = 0
```

dove:

- `alert_temp` è il sensore che scatta quando intercorre una situazione di emergenza;
- `emergency` è lo stato di emergenza, pari a 1 se viene raggiunta la condizione critica, diversamente uguale a 0;

- high_lux come variabile “luce alta” attiva quando viene superata la soglia dei 2000 lux;
- count è il contatore che viene attivato insieme alla variabile “luce alta” e che registra il passare del tempo fino allo scoccare della mezz’ora, dove ritorna a 0.

Importazione
librerie Python

Status iniziale

Funzioni

Lettura file sor-
gente misurazioni

Lettura file sor-
gente misurazioni

Nomi variabili
tf temperatura
lux illuminamento

Alert:
temperatura (tf)

```
import pandas as pd

var_lux = None
var_temp = None

status_umbrella = 0
alert_temp = 0
emergency = 0
high_lux = 0
count = 0

status_outputs = []

FilePath = r"C:\Users\aless\Desktop\Python source Measures.xlsx"
data = pd.read_excel(FilePath)
filtered_data = data.iloc[0:2341:7]

for row in filtered_data.itertuples():
    var_lux = row.lux
    var_temp = row.tf

    if (emergency == 0):
        if (var_temp >= 30): alert_temp += 1
        else: alert_temp = 0
    else:
        if (var_temp <= 25):
            emergency = 0
            alert_temp = 0
            status_umbrella = 0
            status_outputs.append(status_umbrella)
            continue
        else:
            status_outputs.append(status_umbrella)
            continue
```

Figura VI.4.141. Realizzazione dello script tramite Python

```

    if (alert_temp >= 52):
        status_umbrella = 1
        emergency = 1
        status_outputs.append(status_umbrella)
        continue

    if (var_lux < 500): status_umbrella = 0

    if (var_lux >= 2000):
        status_umbrella = 1
        high_lux = 1
        count = 0

    if (var_lux < 2000 and high_lux == 1): count += 1

    if (count >= 26):
        status_umbrella = 0
        high_lux = 0
        count = 0

    status_outputs.append(status_umbrella)

final_data = pd.DataFrame(filtered_data)
final_data['Status Umbrella'] = status_outputs
writer = pd.ExcelWriter(FilePath, engine = 'openpyxl', mode='a')
final_data.to_excel(writer, sheet_name = 'final_data', index=False)
writer.close()

```

Uscita dalla condizione di emergenza

Alert: illuminam. (lux)

Uscita dalla condizione di emergenza

Scrittura stato di apertura o chiusura

Figura VI.4.142. Realizzazione dello script tramite Python

4.5.3. RISULTATI

Successivamente, questi dati in uscita vengono inseriti in Grasshopper in modo che il sistema possa muoversi: l'attuatore viene letto tramite un timer, ogni 1 minuto e 10 secondi, in modo da non avere oscillazioni troppo veloci o possibili interferenze nel movimento. Il dataset si basa su una giornata lavorativa di 8 ore all'interno degli uffici del blocco ovest dell'edificio, in cui l'ombrello rimane chiuso per tutta la mattinata (`status_umbrella = 0`), per permettere alla radiazione diffusa di entrare nel luogo di lavoro.

Di sera, tutti gli schermi si chiuderanno; quando al mattino il sole sorge a est, si apriranno per poi seguire il suo percorso e chiudersi in maniera diffusa durante le ore pomeridiane di lavoro dalle 13 alle 18, in cui la radiazione è più elevata, chiaramente declinando i casi a seconda delle stagioni.

4.6. OVERVIEW DEL SISTEMA E COMPONENTI

L'aspetto della facciata adattiva multistrato, dopo la definizione dimensionale degli elementi di schermatura e qualitativa dei materiali appare così come riportato nell'immagine di seguito, suddivisa per i diversi layer che la compongono:

- layer di movimento, per il controllo dell'abbagliamento e del comfort visivo, diventa il layer che separa dall'ambiente esterno, costituito da un sistema cinetico di vele in PTFE in fibra di vetro;
- livello di captazione, favorendo la regolazione della radiazione incidente, catturata per riflessione da un concentratore solare luminescente (LSC), un sistema fotovoltaico ad alte prestazioni integrato all'interno del vetro in una Smart Window;
- infine la trasformazione, che avviene nel layer più interno per mezzo di celle fotovoltaiche CIGS installate nel telaio della Smart Window, che assorbono la radiazione trasmessa dal LSC, convertendola in energia elettrica.

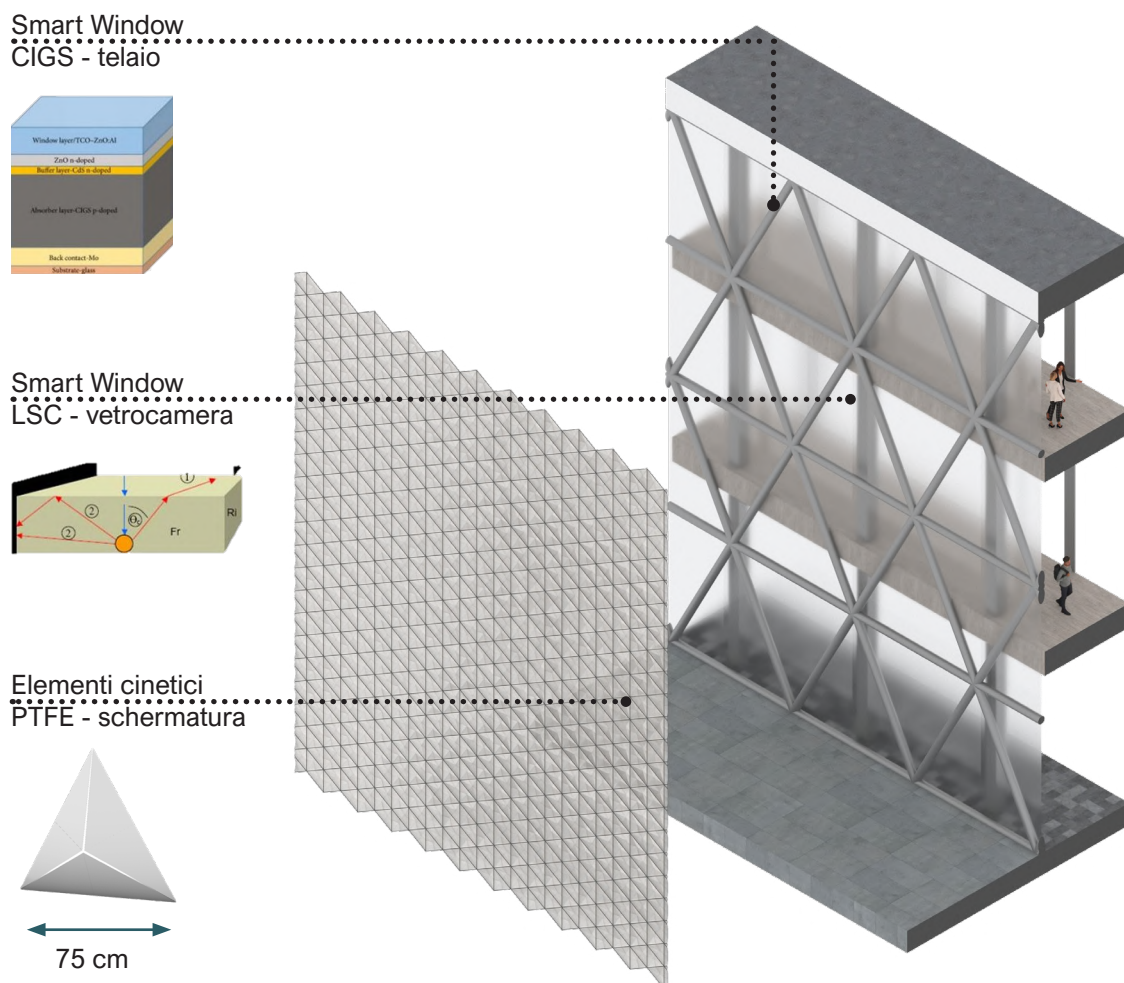


Figura VI.4.143. Vista d'insieme del sistema di facciata adattiva

05

PRODUCIBILITÀ DI ENERGIA

Una volta individuati gli schemi di funzionamento e le caratteristiche dell'involucro adattivo, è possibile calcolare la producibilità di energia del sistema.

5.1. FABBISOGNO DI ENERGIA

L'inserimento nel sistema di facciata di celle fotovoltaiche di seconda e terza generazione permette di convertire l'energia elettromagnetica contenuta nella radiazione solare in energia elettrica utilizzabile dall'edificio, rendendolo più sostenibile.

Il primo passo da effettuare è quindi quello di determinare il fabbisogno di energia elettrica. Si è però deciso di limitare l'intera analisi sugli uffici situati ad Ovest, oggetto di studio dell'analisi illuminotecnica (caso studio complesso, paragrafo 4.3.).

Inoltre, si precisa che sono stati tenuti in conto non soltanto i carichi dovuti all'illuminazione artificiale, ma è necessario considerare anche le apparecchiature presenti negli uffici, come ad esempio computer e stampanti.

Per valutare il fabbisogno elettrico degli uffici ci si è affidati a valori di riferimento francesi forniti da Énergie+, uno strumento internet prodotto



Figura VI.5.1. Conversione di energia elettromagnetica in energia elettrica

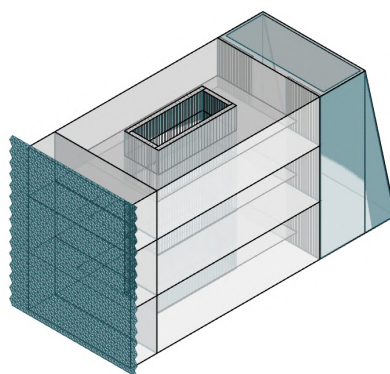


Figura VI.5.2. Uffici lato Ovest

dall'Unità di ricerca "Architettura e clima" dell'Université Catholique de Louvain. Tale strumento raccoglie numerose valutazioni che spaziano dai consumi energetici alla qualità dell'aria per edifici terziari, focalizzandosi in particolare sugli uffici.

5.1.1. SPAZI DI LAVORO TIPICI NEGLI UFFICI

Una prima considerazione effettuata dallo studio dei consumi di un ufficio fornito da Énergie+, è quella relativa alla dimensione dello spazio di lavoro di un occupante.

Tale valore è suggerito dalla norma NF X 35-102 dell' Agence Française de Normalisation (AFNOR). Si precisa che tale norma fornisce quadro di riferimento non obbligatorio, ma raccomanda una superficie minima di 10 m² per persona in un ufficio individuale o collettivo.

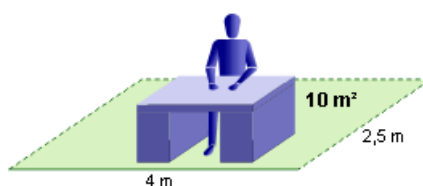


Figura VI.5.3. Dimensioni tipiche dello spazio di lavoro
Fonte immagine: Énergie+

5.1.2. CALCOLO FABBISOGNI ELETTRICI

Énergie+ riporta in specifici approfondimenti i singoli apporti dovuti all'utilizzo di apparecchiature elettriche negli uffici. In particolare, vengono evidenziati i rispettivi valori di potenza elettrica in base alle possibili modalità di funzionamento delle segenti apparecchiature: computer, fax, stampanti, fotocopiatrici e scanner. Inoltre, sono riportati anche i consumi di apparecchi poco comuni come ad esempio smartphone e tablet.

Il calcolo finale dei fabbisogni elettrici riporta la somma delle potenze elettriche dei differenti dispositivi, così come una stima della potenza elettrica dei corpi illuminanti. Nello studio si considera all'anno un utilizzo di 8 ore al giorno, per 5 giorni a settimana, ma in questo caso le ore di lavoro vengono portate a 10.

Dividendo il risultato per 10 m², ovvero per lo spazio di lavoro di un occupante, si ottiene il valore di fabbisogno energetico annuo per unità di superficie. Tale valore viene infine moltiplicato per la superficie totale degli uffici oggetto di analisi. Si riporta di seguito una tabella con i valori riassuntivi dei fabbisogni energetici.

UFFICI LATO OVEST

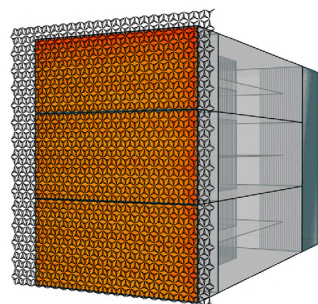
	Consumi elettrici [W]	Numero ore [-]	Superficie [m ²]	Totale consumi [kWh/anno]
Illuminamento	120	10	769	24059
Apparecchiature	150	10	769	30073
Totale consumi E_{tot} [kWh/anno]				54132

Figura VI.5.4. Consumi energetici

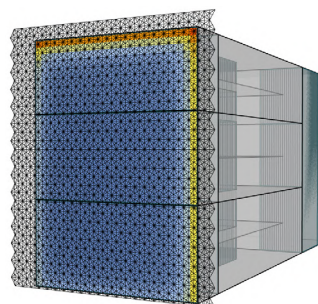
5.2. RADIAZIONE SOLARE INCIDENTE

Utilizzando i modelli di Rhino e Grasshopper realizzati per le analisi illuminotecniche (caso studio complesso), sono state svolte analisi annuali per stabilire la quantità di radiazione solare incidente sulla facciata nelle quattro configurazioni di progetto. L'analisi è stata condotta utilizzando il plug-in di Grasshopper Honeybee-Radiance e sono state create tre griglie di sensori distanziati di 50 cm, in corrispondenza delle aperture a Ovest dei differenti piani: al piano terra risultano 338 sensori, al primo piano 312 ed infine al secondo piano 286. Si riportano pertanto i corrispondenti valori medi ottenuti dall'analisi annuale.

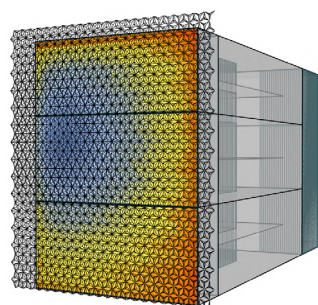
CP1	
Piano terra	403,01 kWh/m ² .anno
Piano primo	404,17 kWh/m ² .anno
Piano secondo	419,42 kWh/m ² .anno



CP2	
Piano terra	151,13 kWh/m ² .anno
Piano primo	143,97 kWh/m ² .anno
Piano secondo	193,52 kWh/m ² .anno



CP3	
Piano terra	314,98 kWh/m ² .anno
Piano primo	231,94 kWh/m ² .anno
Piano secondo	279,04 kWh/m ² .anno



CP4	
Piano terra	313,80 kWh/m ² .anno
Piano primo	231,21 kWh/m ² .anno
Piano secondo	279,47 kWh/m ² .anno

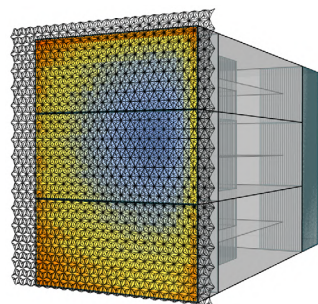


Figura VI.5.5. Radiazione solare incidente nelle quattro configurazioni

5.2.1. UTILIZZO DEL CRONOPROGRAMMA

Grazie alle analisi illuminotecniche è stato possibile ottenere il cronoprogramma di funzionamento del sistema adattivo nei seguenti giorni di analisi: 21 dicembre, 21 marzo, 21 giugno e 23 settembre (sottoparagrafo 4.3.8.).

Essendo i giorni selezionati corrispondenti ai solstizi e agli equinozi, i cicli di apertura e chiusura della facciata adattiva sono stati estesi lungo l'intero anno come segue:

- il funzionamento del 21 dicembre è stato esteso ai mesi di Dicembre, Gennaio e Febbraio;
- il funzionamento del 21 marzo è stato esteso ai mesi di Marzo, Aprile e Maggio;
- il funzionamento del 21 giugno è stato esteso ai mesi di Giugno, Luglio e Agosto;
- il funzionamento del 23 settembre è stato esteso ai mesi di Settembre, Ottobre e Novembre;

È stata quindi calcolata la percentuale di funzionamento di ogni configurazione in un anno e tale valore è stato moltiplicato per la quantità di radiazione solare incidente sulla facciata nella configurazione corrispondente. In questo modo è stato possibile ottenere la quantità totale di radiazione solare incidente in un anno per unità di superficie, tenendo conto dei possibili cambiamenti di configurazione dell'involucro adattivo.

	CP1	CP2	CP3	CP4
Piano terra	65%	23%	10%	3%
Piano primo	65%	18%	13%	5%
Piano secondo	47%	20%	15%	18%
I_{tot}	991,33 kWh/m².anno			

Figura VI.5.6. Calcolo radiazione solare incidente totale tramite cronoprogramma

5.2.2. AREA CAPTANTE

L'area captante del sistema fotovoltaico integrato nell'involucro adattivo corrisponde all'area dei moduli LSC e, in particolare, si considera la sola porzione di facciata antistante gli uffici. Inoltre, nel calcolo dell'area è stato tenuto conto della presenza dei telai e dei pannelli Spandrel e pertanto la superficie captante viene ridotta del 30% rispetto all'area totale delle aperture.

	Superficie apertura [m ²]	Ingombri (telai + Spandrel)	Superficie LSC [m ²]
Piano terra	89,1	30%	62,37
Piano primo	86,4	30%	60,48
Piano secondo	75,6	30%	52,92
Totale A_{fv} [m²]			175,77

Figura VI.5.7. Calcolo area captante

Pertanto, la radiazione solare incidente totale risulta essere pari a **174245,78 kWh/anno**.

5.2.3. PERDITE INTERNE AI MODULI LSC

Nonostante l'ottimizzazione dei luminofori e della matrice polimerica, bisogna tenere conto delle perdite di riassorbimento presenti nei moduli LSC. Per questa ragione viene applicata una riduzione del 5% alla radiazione solare incidente totale, che risulta quindi:

I_{tot}	165533,49 kWh/anno
-----------	--------------------

5.3. MODULI CIGS

5.3.1. CARATTERISTICHE TECNICHE

Si riportano le caratteristiche tecniche del modulo CIGS FLEX 03W 500W dell'azienda SIINOLTECH. Si precisa che la dimensione dei moduli, dovendo ricoprire i telai che sostengono i moduli LSC, non è stata presa in conto in quanto da realizzare su misura.

Tipo	CIGS FLEX 03W 500W
Tipologia cella	CIGS
Potenza nominale	500 w
Efficienza modulo η_{fv}	16,4%

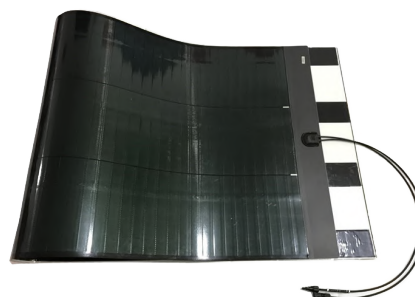


Figura VI.5.8. Caratteristiche tecniche CIGS

5.3.2. ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA

La quantità di energia elettrica generata dal sistema fotovoltaico combinato (LSC+CIGS) è data dalla seguente equazione:

$$E_{fv} = I_{tot} \cdot f_c \cdot \eta_{fv} \cdot \eta_{BOS}$$

Con:

- I_{tot} : radiazione solare incidente totale [kWh/anno];
- f_c : fattore correttivo per l'orientamento e l'inclinazione della superficie [-];
- η_{fv} : efficienza di conversione nominale dei moduli CIGS [%];
- η_{BOS} : efficienza di conversione dei BOS [%].

Da questa equazione, l'energia elettrica che può essere prodotta dal sistema fotovoltaico risulta essere:

I_{tot} [kWh/anno]	f_c [-]	η_{fv} [%]	η_{BOS} [%]	E_{fv} [kWh/anno]
165533,49	0,7	16,4	85	16153

Figura VI.5.9. Calcolo energia elettrica prodotta dal sistema fotovoltaico

5.4. VALUTAZIONE RISULTATI OTTENUTI

Come ultimo passo viene calcolata la copertura C del sistema fotovoltaico rispetto al fabbisogno energetico, secondo la formula:

$$C_{tot} = E_{fv} / E_{tot}$$

Inoltre, è possibile considerare separatamente la copertura relativa al solo fabbisogno di illuminazione (E_{ill}) e quella relativa alle apparecchiature (E_{app}):

$$C_{ill} = E_{fv} / E_{ill} \quad C_{app} = E_{fv} / E_{app}$$

Si riportano quindi i risultati:

E_{tot} [kWh/anno]	E_{ill} [kWh/anno]	E_{app} [kWh/anno]	E_{fv} [kWh/anno]
54132	24059	30073	16153
Copertura totale C_{tot} [%]			30%
Copertura relativa all'illuminazione C_{ill} [%]			67%
Copertura relativa alle apparecchiature C_{app} [%]			54%

Figura VI.5.10 Copertura del sistema fotovoltaico rispetto ai fabbisogni energetici

Tali risultati si ritengono soddisfacenti nonostante non venga completamente coperto il fabbisogno, in quanto è stata considerata soltanto una parte della facciata Ovest.

5.4.1. ESTENSIONE AREA CAPTANTE

Ipotizzando di considerare tutta la facciata ovest, si ricalcola, seguendo gli step precedentemente descritti, l'energia elettrica prodotta dal sistema fotovoltaico e le differenti coperture dei fabbisogni energetici.

Facciata Ovest	Superficie apertura [m ²]	Ingombri (telai + Spandrel)	Superficie LSC, A_{fv} [m ²]
	981	30%	688
Radiazione solare incidente I_{tot} [kWh/anno]			680745
Radiazione solare incidente I_{tot} + perdite LSC [kWh/anno]			646708
Energia elettrica prodotta E_{fv} [kWh/anno]			63106
Copertura totale C_{tot} [%]			117%
Copertura relativa all'illuminazione C_{ill} [%]			262%
Copertura relativa alle apparecchiature C_{app} [%]			210%

Figura VI.5.11. Energia elettrica prodotta e copertura del fabbisogno energetico

Come si può notare vi è stato un notevole incremento delle coperture, consentendo quindi di utilizzare l'energia prodotta residua anche per soddisfare altre richieste.

06

PROTOTIPAZIONE

Le varie analisi condotte hanno permesso di realizzare il primo prototipo del modulo di facciata con il dimensionamento e l'azionamento tramite i motori, insieme alle misurazioni effettuate dai rivelatori applicati alla superficie. In una prospettiva di ricerca futura, i motori a corrente continua possono essere azionati da un sistema attuatore-sonda che, misurando una differenza di temperatura fra facciata esterna ed ambiente interno, può governare il sistema di movimento delle vele esterne, sfruttando l'energia prodotta dalla finestra intelligente CIGS-LSC.

6.1. DIMENSIONAMENTO E PROGETTAZIONE

Partendo dal modello tridimensionale realizzato tramite Grasshopper, come mostrato nel paragrafo 3.1. del seguente capitolo, le vele sono state implementate con una struttura di perni e tiranti motorizzata. Il sistema è illustrato di seguito ed è inoltre stato verificato all'azione del vento. Dopo il calcolo manuale del valore massimo di pressione del vento sulla facciata in esame presente nel Capitolo IV - Azione del vento, al paragrafo 1.6., si è deciso di condurre una simulazione dinamica utilizzando Grasshopper. La realizzazione del prototipo è stata fatta in collaborazione con il laboratorio di efficienza energetica dell'università ESTP e i materiali utilizzati sono quelli più facilmente reperibili, quali cartone rivestito di tessuto e tiranti in acciaio. Alcuni elementi come la testa di fissaggio dei tiranti e la base di supporto del motore sono stati sviluppati tramite stampante 3D.



Figura VI.6.1. Prototipo realizzato

6.1.1. RESISTENZA AL VENTO

Successivamente al calcolo dei valori di taglio e momento massimi agenti sulla facciata considerata, si è scelto di condurre una simulazione dinamica tramite Grasshopper e relativo applicativo Karamba 3D. Vengono considerate come azioni sulla struttura durante il fenomeno:

- il peso proprio dei tiranti (G1);
- il peso proprio delle vele (G2);
- l'azione del vento massima calcolata in relazione alla zona di progetto (Q).

L'elemento cinetico viene discretizzato tramite Grasshopper in vele e tiranti, costituendo geometria a partire da punti, segmenti e superfici. Costituendo un triangolo equilatero, si inseriscono nei vertici e nel centro i vincoli della struttura, in questo caso cerniera sui 3 vertici e carrello nel punto centrale. A partire dalla geometria e dai vincoli, viene poi aggiunto il peso della struttura, rispettivamente della sezione circolare in alluminio dei tiranti e il peso delle vele in PTFE. In questo modo, per completare il modello vengono inseriti i carichi agenti sopra citati: nel caso della pressione del vento (N/m^2) viene ricavata dal calcolo condotto in precedenza, mentre il peso dei materiali fa riferimento a scheda tecnica da produttore e/o NTC2018.

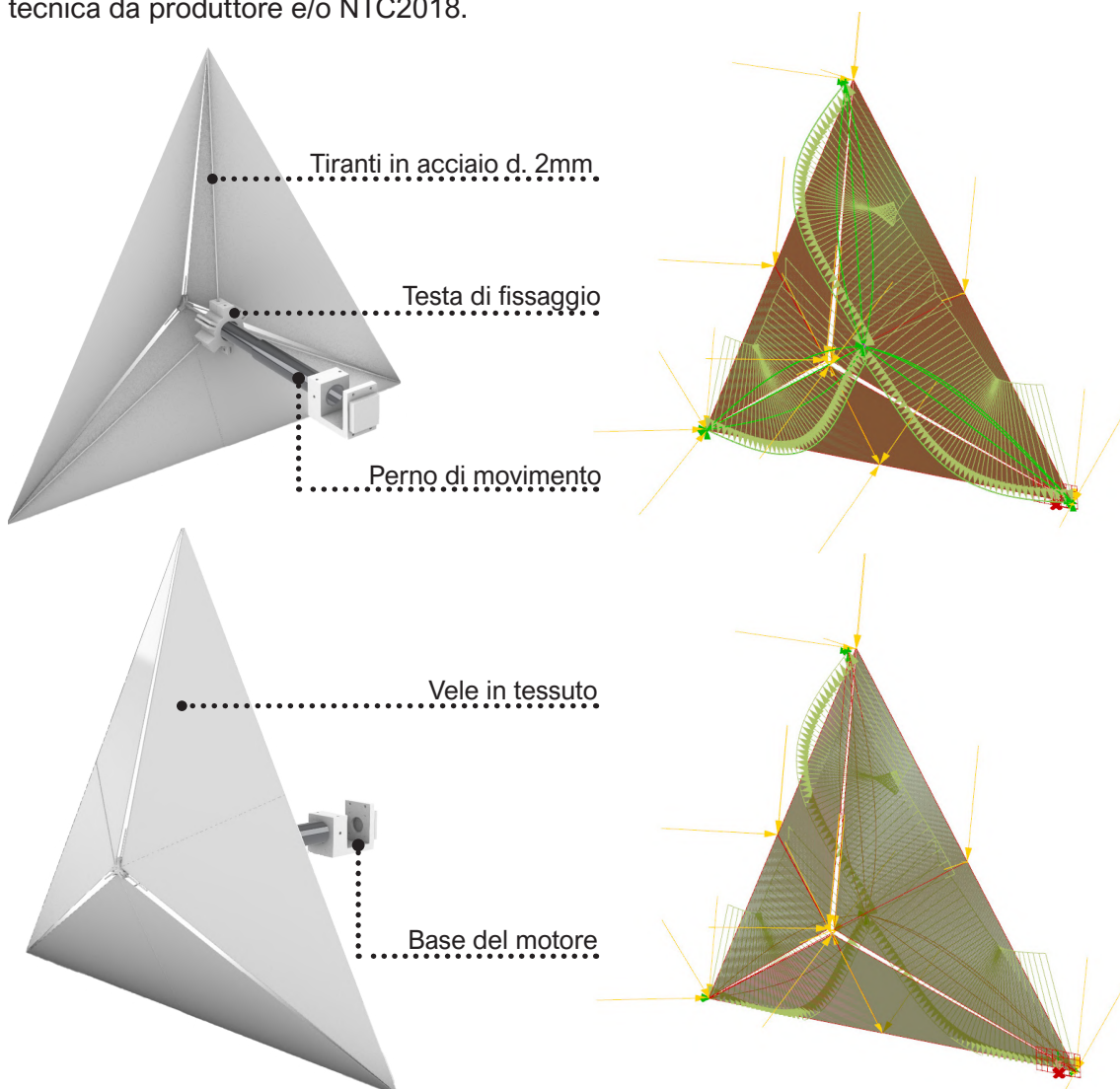


Figura VI.6.2. Elementi costitutivi del modello e corrispondenti deformazioni ammissibili



Figura VI.6.3. Prototipo e spot luminoso

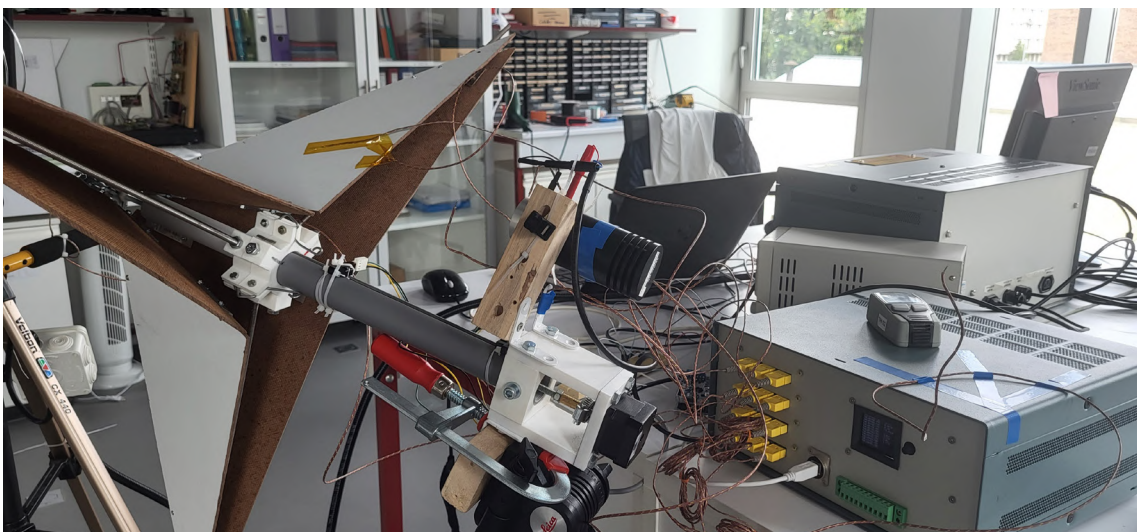


Figura VI.6.4. Collegamenti e motore di alimentazione del prototipo

6.2. PROVE EFFETTUATE

Una volta assemblate le parti costituenti il prototipo del sistema cinetico di facciata vengono eseguiti dei test per verificare i possibili input esterni ed interni e il ΔT captato dal sistema sonda-attuatore che andrebbe ad azionare l'apertura o chiusura degli ombrelli.

L'attrezzatura utilizzata per tali misurazioni prevede:

- spot luminoso;
- modulo d'acquisizione;
- controllo del motore;
- alimentatore;
- sonde che captano 7 diverse temperature, posizionate in vari punti del sistema, così come illustrato nelle figure.



Figura VI.6.5. Posizione delle sonde captanti sul prototipo

La logica del posizionamento delle sonde segue l'idea di averne 2 molto vicine alla sorgente luminosa, rispettivamente una staccata dall'ombrello e una sull'apice; Tck1 sull'ala anteriore e Tck2 sull'ala posteriore. Tck3 e Tck5 dietro l'ombrello e coperte quando questo è aperto, e Tck6 la sonda più distante dal pistone; Tck7 si trova su un supporto davanti all'ombrello. In fase successiva dei test sono state aggiunte delle sonde ulteriori posizionate su piastre captanti (Tck8, Tck9, Tck10, Tck11), in modo da simulare un'ideale comportamento all'interfaccia fra elemento cinetico e finestra retrostante.

Viene inoltre utilizzata la convenzione seguente:

- 0 quando l'ombrello risulta chiuso;
- 1 quando l'ombrello viene aperto.

6.2.1. TEST CON LUCE ARTIFICIALE

Le prime misurazioni vengono effettuate in condizioni di cielo coperto con uno spot di luce artificiale, a 21° esterni, nella città di Cachan.

Il sistema viene dapprima lasciato chiuso, con spot di luce spenta per i primi 10 minuti, registrando una diminuzione delle temperature. In seguito, sempre a sistema chiuso, la luce viene accesa e vengono effettuate le misurazioni delle temperature per 30 minuti, in modo che queste da crescenti si stabilizzino.

Successivamente viene aperto il modulo (t di apertura = 1 min) e si registra globalmente una diminuzione delle temperature, poiché la misurazione da parte delle sonde è influenzata dalla distanza di queste dalla sorgente luminosa, che sprigiona calore. L'ombrello rimane aperto finché tutte le temperature non si stabilizzano. Dall'andamento del grafico a pagina 440 si nota come Tck4 e Tck7 siano le più variabili, proprio a causa della loro posizione molto ravvicinata allo spot di luce.

Dopo 50 minuti, viene spenta la luce e monitorata l'oscillazione delle temperature: alla fine dell'ora e mezza si registrano dati stabili e quindi vengono verificate le acquisizioni. La radiazione risulta dipendente dall'accensione e spegnimento dello spot di luce direzionato.

6.2.2. TEST CON LUCE SOLARE

Per effettuare una comparazione fra situazione sperimentale e reale viene compiuto lo stesso ciclo di misurazioni anche sotto l'influenza della luce del sole. Le condizioni al contorno prevedono cielo prevalentemente sereno con una temperatura di 19° esterni a Cachan, con l'ombrello che punta verso Est; viene scelto di lasciare chiusa la finestra della stanza in cui si effettua il test poiché se venisse lasciata aperta le oscillazioni di temperatura risulterebbero troppo rilevanti e non utili ai fini della comparazione.

Il procedimento è simile a quello effettuato per il test con lo spot di luce artificiale, mantenendo costante un voltaggio di 11,7 V, corrente di 0,03 A e potenza di 0,3 W.

Nei primi 10 minuti il sistema rimane chiuso e si registra un innalzamento delle temperature registrate da parte delle sonde captanti: la crescita continua anche nei successivi 10 minuti quando il sistema viene aperto, per poi decrescere una volta trascorsi e per i

20 minuti che seguono la chiusura del sistema. Tck1 risulta la temperatura più variabile poiché fortemente influenzata dall'apertura e chiusura del sistema.

L'ombrello viene poi aperto per un'intera ora finché le temperature registrate si stabilizzano: da lì alla fine delle misurazioni viene chiuso.

Il radiometro registra delle crescite di radiazione in corrispondenza della chiusura del sistema, poiché in questo modo anche le sonde retrostanti ricevono luce: tuttavia, nell'ultimo ciclo di apertura e chiusura si registra una stabilizzazione della radiazione, proprio come accade per le temperature.

6.2.3. CONSIDERAZIONI FISICHE PER LE MISURAZIONI

RADIAZIONE SOLARE

Valutando una parete esterna esposta alla radiazione solare, vanno considerate le tre componenti diretta, diffusa e riflessa al suolo, con uno specifico coefficiente di albedo; l'unico strumento in grado di registrare la combinazione delle tre è il piranometro. Si tratta di un oggetto che purtroppo non era possibile reperire per le misurazioni in oggetto.

Occorre tener presente come miglior modo per ricavare la radiazione diretta e diffusa senza interferenze sia posizionare le sonde in orizzontale (dove vi è il maggior apporto di luce) è. La radiazione riflessa è soggetta alle caratteristiche di albedo della superficie. Inoltre, le sonde classiche possono solo registrare certe lunghezze d'onda.

TEMPERATURA

Quando è presente un gradiente di temperatura fra una superficie solida (parete) in contatto con un fluido a temperatura minore si parla di convezione, cioè di trasmissione di calore associato ad un trasferimento di massa.

Per calcolare la temperatura all'interfaccia della finestra è necessario considerare temperatura e velocità dell'aria, sempre effettuando misurazioni a circa 50 cm di distanza.

Il calore trasferito è determinato dall'equazione di Newton del raffreddamento:

$$q = A \cdot h \cdot (T_p - T_i)$$

dove:

- q : calore trasferito nell'unità di tempo [W];
- A : superficie della parete [m^2];
- h : coefficiente di trasferimento del calore per convezione [W/m^2K];
- T_p : temperatura della parete [$^{\circ}K$];
- T_i : temperatura della parete [$^{\circ}K$].

Il fluxometro è uno strumento che misura la velocità dell'aria e può essere monodirezionale o tri direzionale: quest'ultimo risulta molto più resistente all'azione del vento.

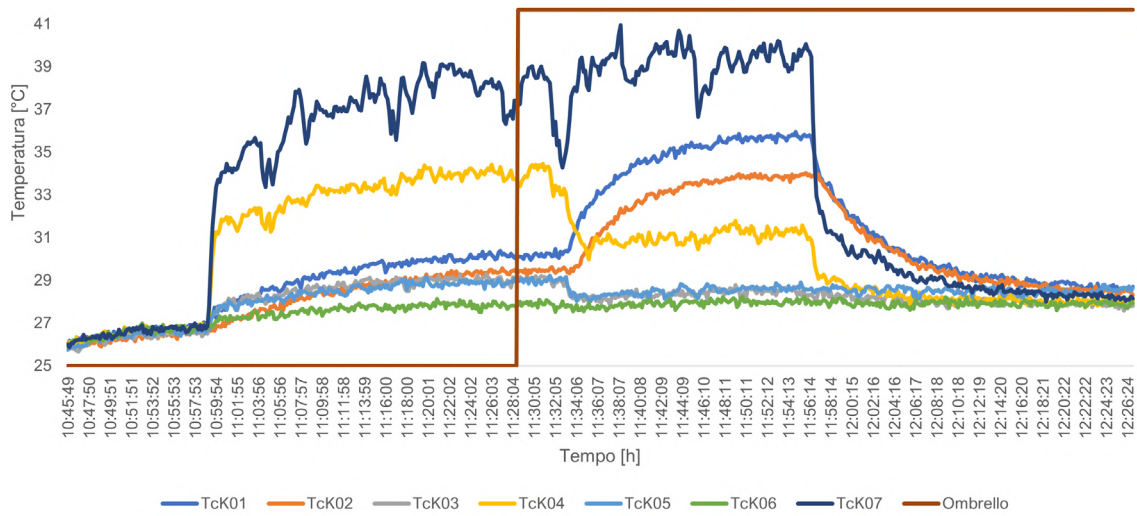


Figura VI.6.6. Andamento delle temperature rilevate durante il test con luce artificiale

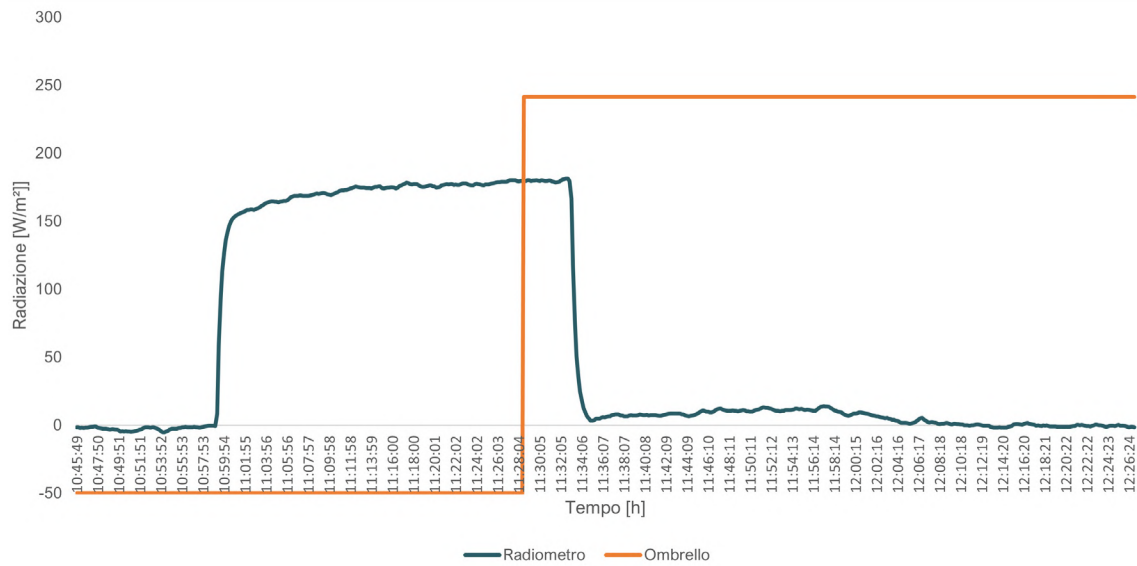


Figura VI.6.7. Andamento della radiazione rilevata durante il test con luce artificiale

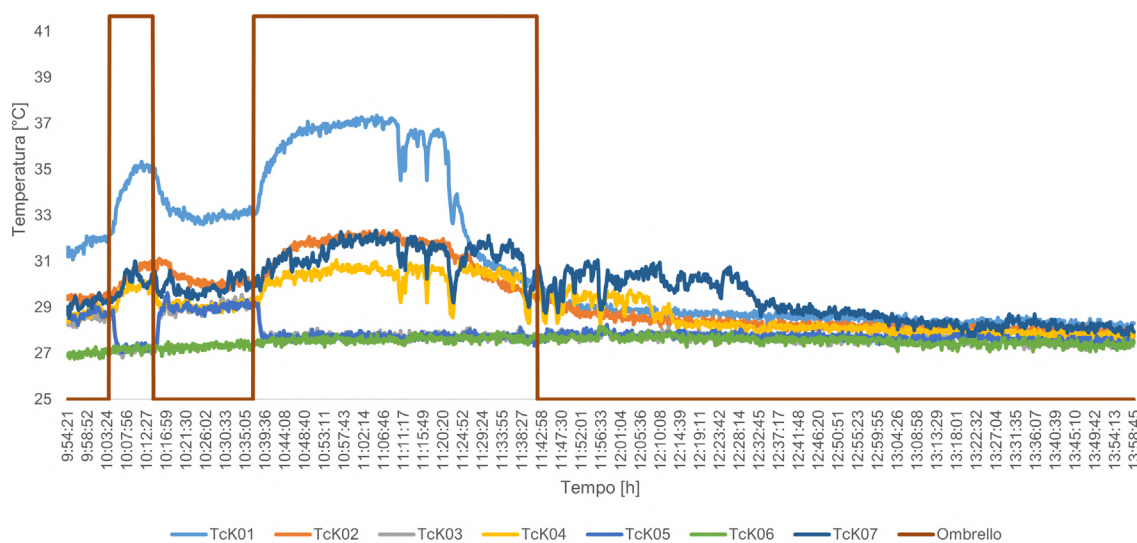


Figura VI.6.8. Andamento delle temperature rilevate durante il test con luce solare

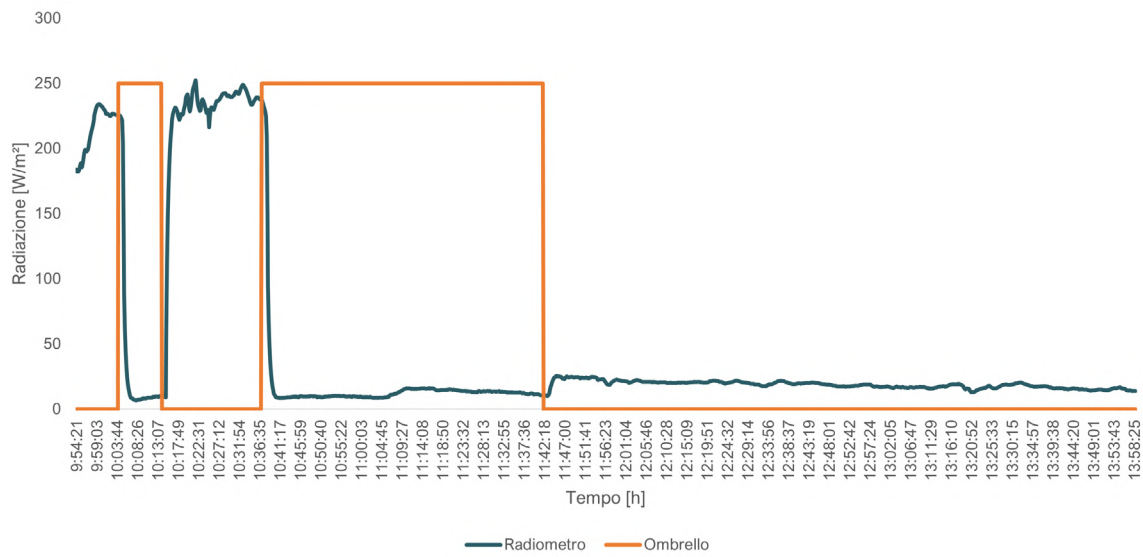


Figura VI.6.9. Andamento della radiazione rilevata durante il test con luce solare

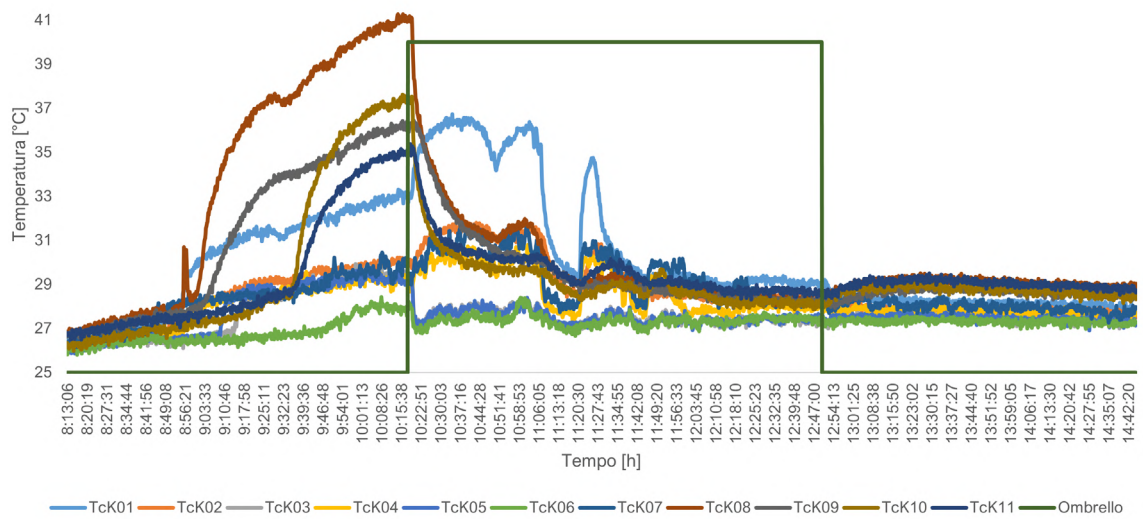


Figura VI.6.10. Andamento delle temperature rilevate durante il test con luce solare e piastre

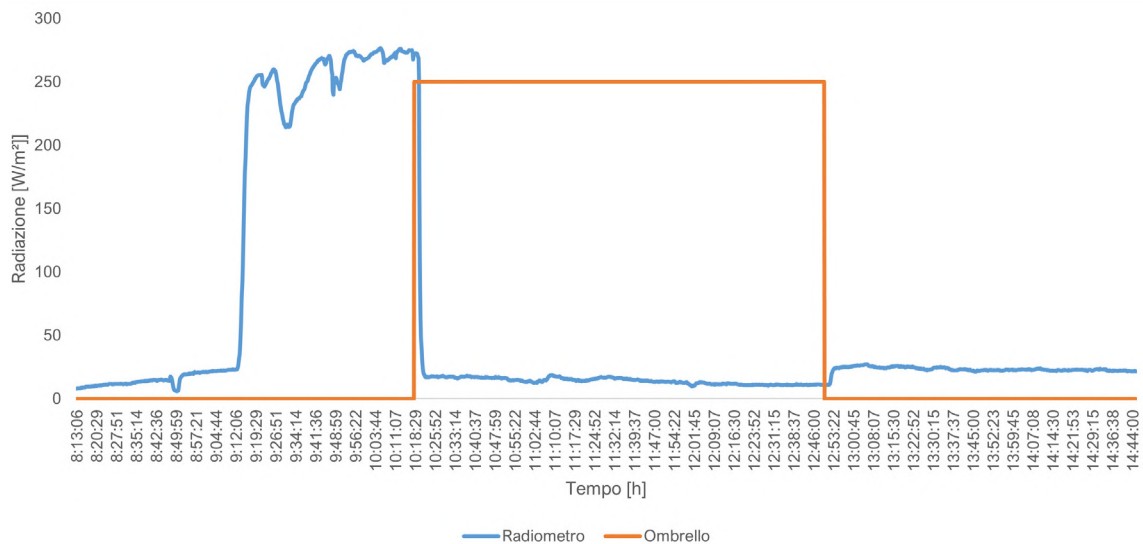


Figura VI.6.11. Andamento della radiazione rilevata durante il test con luce solare e piastre

07

MANUTENZIONE DELL'INVOLUCRO

7.1. ASPETTI GENERALI

L'involucro dell'edificio ricompre un ambito particolare nel contesto della manutenzione, in quanto mostra maggiormente i segni del tempo. Fornendo anche il carattere estetico dell'edificio, richiede attenzione e cura.

Per edifici con elevate prestazioni ed a elevata complessità tecnologica, le problematiche manutentive devono essere affrontate in fase progettuale, sia per la scelta dei materiali da utilizzare in relazione alla loro durabilità, sia per le modalità di costruzione, montaggio e tecniche di intervento.

Descrizione generata automaticamente La durabilità dei componenti edilizi, ovvero "la capacità di un prodotto di mantenere i livelli delle prestazioni e delle caratteristiche funzionali richieste nel tempo, sotto l'influenza di azioni prevedibili" (UNI 11156), nel caso delle facciate significa che essa deve conservare nel tempo, sotto l'azione di differenti agenti di degrado, le sue prestazioni: resistenza meccanica, tenuta all'acqua e all'aria, isolamento termico ed acustico, comportamento al fuoco e aspetto.

Pertanto, è importante definire a priori i livelli prestazionali attesi e, successivamente, stabilire se può ritenersi accettabile nel tempo una riduzione di una o più classi di prestazione inferiori. Il tempo

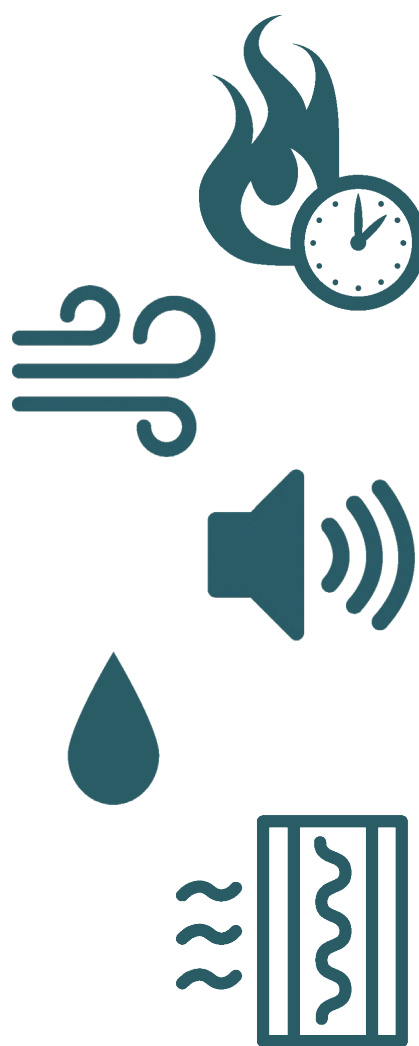


Figura VI.7.1. Prestazioni dell'involucro oggetto di manutenzione

è quindi la variabile rispetto alla quale devono essere valutate le prestazioni della facciata e dei suoi componenti, ed in particolare i livelli prestazionali di soglia, ovvero i valori al di sotto dei quali è necessario intervenire.

I componenti ed i materiali che costituiscono il sistema di facciata sono caratterizzati da comportamenti tecnologici diversi in funzione del tempo, delle sollecitazioni alle quali sono sottoposti, al loro ruolo funzionale ed alla loro collocazione fisica all'interno della soluzione tecnologica. Dunque, occorre stabilire e differenziare la durabilità dei componenti in:

- componenti primari: componenti con vita utile di servizio non inferiore alla vita utile di progetto della facciata stessa, i quali non necessitano di operazioni particolari di manutenzione fatta esclusione per i ciclici periodi di pulizia; Ad esempio: elementi di telaio e organi di attacco alla struttura, pannelli di facciata, componenti di isolamento termico ecc.;
- componenti secondari: componenti con vita utile inferiore a quella di progetto dell'intera facciata, i quali richiedono, oltre agli interventi di manutenzione ordinaria anche interventi di manutenzione straordinaria.

7.2. STRATEGIE MANUTENTIVE E PIANO DI MANUTENZIONE

Al fine di individuare le strategie manutentive applicabili agli elementi tecnologici dell'involucro, bisogna dapprima separare il concetto di manutenibilità in: sostituibilità, riparabilità e pulibilità.

La scelta del sistema di facciata, dei materiali, le loro caratteristiche di durabilità, affidabilità e manutenibilità, influiscono in modo determinante sulle strategie manutentive da adottare, le quali possono essere così distinte:

- manutenzione correttiva: a guasto avvenuto, per cui l'azione correttiva può essere differita oppure urgente;
- manutenzione preventiva: eseguita a intervalli predeterminati o in base a criteri prescritti e volta a ridurre la possibilità di guasto o il degrado di funzionamento di un elemento;
- manutenzione ciclica o di routine: attività regolari o ripetute di manutenzione elementare che generalmente non richiedono qualifiche, autorizzazioni o attrezzi speciali (vi rientra in tale categoria la pulizia come manutenzione ordinaria);
- manutenzione secondo condizione: intesa come manutenzione preventiva basata sul monitoraggio delle prestazioni e/o dei parametri significativi per il funzionamento della facciata nel suo insieme.

Oltre alla scelta delle strategie da adottare, è necessario predisporre il piano di manutenzione, articolato in tre documenti operativi:

- a. manuale d'uso, finalizzato al corretto utilizzo delle parti più importanti del bene;
- b. manuale di manutenzione, che illustra le indicazioni relative alla corretta manutenzione nonché al ricorso a centri di assistenza o di servizio per le parti più importanti del bene;
- c. programma di manutenzione, che descrive le operazioni di controllo e di manuten-

zione da realizzare a cadenza prefissate.

Il piano di manutenzione si identifica così come un insieme di documenti deputati alla raccolta delle informazioni, alla previsione dei comportamenti degli elementi tecnici e alla programmazione degli interventi. Esso assume diversi livelli di approfondimento in relazione alla fase del processo edilizio nel quale è inserito e coniuga l'aspetto di procedura, intesa come quadro di acquisizione, previsione e organizzazione delle conoscenze, con l'elaborazione dei documenti di piano, ossia l'aspetto relativo alla formalizzazione delle informazioni all'interno di documenti che i contenuti delle attività da svolgere secondo i mezzi, le frequenze e le modalità individuate.

In particolare, il manuale di manutenzione è un valido strumento di supporto alla gestione dell'edificio. Infatti, richiede l'individuazione di anomalie riscontrabili, di distinguere le manutenzioni eseguibili dall'utente da quelle eseguibili da personale specializzato e che siano presenti indicazioni riguardanti le prescrizioni di sicurezza da seguire.

7.3. MANUTENZIONE DI ELEMENTI MOTORIZZATI

Particolare attenzione deve essere posta per la manutenzione di elementi motorizzati, come schermature solari mobili.

In primo luogo, devono essere individuati i limiti e gli usi della macchina, prevedendo gli utilizzi scorretti "ragionevolmente prevedibili". Altro aspetto importante è quello relativo alla sicurezza, valutando i rischi relativi alla macchina:

- pericoli di natura meccanica;
- pericolo di natura elettrica;
- pericolo di natura termica;
- pericolo generato da rumore;
- pericoli generati da vibrazione;
- pericoli generati da radiazione;
- pericoli generati da materiali e sostanze;
- pericoli generati dall'inosservanza di principi ergonomici;
- pericoli di scivolamento, inciampo e caduta;
- pericoli associati all'ambiente.

Al fine di stabilire tali rischi bisogna tenere in considerazione le modalità di funzionamento e i procedimenti di intervento in tutti i possibili stati della macchina, anche in caso di malfunzionamento.

7.4. TECNICHE E MODALITÀ DI INTERVENTO

7.4.1. MONITORAGGIO

Si distingue dall'ispezione, in quanto esso ha il compito di valutare il cambiamento dei parametri funzionali di un'entità osservata rispetto al tempo. Pertanto, il monitoraggio può essere eseguito in modo continuo, a determinati intervalli di tempo oppure dopo un certo numero di operazioni.

Obiettivo del monitoraggio deve essere quello di poter essere strumento e guida per la messa a punto di una manutenzione preventiva.

7.4.2. PULIZIA

Con il termine "pulizia" si intendono tutte quelle operazioni che mirano all'eliminazione dello sporco che si accumula sulle superfici esposte agli agenti atmosferici. Le operazioni di pulizia devono prevedere opportuni sistemi in altezza con esigenza di accesso dall'esterno.

La pulizia delle facciate viene eseguita in maniera differente a seconda dei materiali che vengono a contatto con i prodotti impiegati per il lavaggio, in modo tale che gli elementi non vengano danneggiati per aggressione chimica, verificando preventivamente la compatibilità dei materiali con i prodotti utilizzati. Il sistema di lavaggio deve inoltre considerare il tipo di sporcizia che deve essere eliminato.

A partire dal collaudo della facciata è importante eseguire una sua pulizia periodica al fine di mantenere i requisiti di aspetto, uniformità e funzionalità previsti. Nel caso in cui non si eseguano per lungo tempo pulizie di mantenimento o vengano effettuate in misura inadeguata, si rende necessaria una pulizia a fondo o straordinaria.

La scelta di una determinata frequenza di pulizia dipende da diversi fattori, tra i quali:

- localizzazione dell'edificio;
- posizione e la distribuzione delle facciate o delle loro porzioni in esame;
- esposizione agli agenti atmosferici;
- destinazione d'uso dell'edificio e il tipo di uso (non intenso, normale o elevato).

Tra i principali agenti atmosferici responsabili del degrado dei materiali e dei componenti impiegati nella costruzione delle facciate vi sono l'irraggiamento solare, le piogge acide, le variazioni di temperatura giornaliere e stagionali e l'inquinamento atmosferico.

7.5. DIFFERENZIAZIONE DEI SISTEMI DI PULIZIA A SECONDA DEI MATERIALI COSTITUENTI LA FACCIATA ADATTIVA DI PROGETTO

7.5.1. VETRO

Per la pulizia superficiale del vetro si utilizzano acqua tiepida e un detergente neutro, applicati tramite una spugna morbida o un panno soffice, senza utilizzare sostanze o mezzi abrasivi che comportano un deterioramento dell'aspetto estetico della superficie.

Si deve evitare l'utilizzo di sostanze acide, soprattutto se contenenti cloruri, fluoruri e sostanze basiche. Queste sostanze possono aggredire i sigillanti strutturali e i giunti di

tenuta all'acqua.

Qualora sulle superfici siano presenti depositi aderenti, il lavaggio deve essere effettuato con un solvente, come alcol isopropilico o alcol denaturato, applicato mediante spugna morbida o panno sofficе, facendo attenzione a non far entrare a contatto il solvente con sigillanti, guarnizioni e prodotti verniciati.

7.5.2. ALLUMINIO ANODIZZATO

Mediante il processo di anodizzazione l'alluminio viene coperto da uno strato di ossido di alluminio che ha la funzione di proteggere il supporto. La pulizia di tali superfici richiede l'impiego di prodotti neutri e spesso è sufficiente dell'acqua saponata neutra applicata con panno sofficе pulito.

È necessario verificare la compatibilità chimica del detergente con l'alluminio anodizzato e il prodotto utilizzato non deve essere aggressivo nei confronti degli altri materiali con cui può venire a contatto, come guarnizioni e vetro.

7.5.3. ACCIAIO INOSSIDABILE

Gli acciai inossidabili sono acciai particolarmente resistenti alla corrosione e non necessitano di rivestimenti protettivi. Le impurità superficiali però possono frequentemente causare la corrosione e la vaiolatura dell'acciaio inox, a causa di particelle di sabbia e di accumuli di sporcizia negli interstizi. La corrosione può essere dovuta ad atmosfere particolarmente aggressive e alla presenza di particelle metalliche.

Il problema di una corretta pulizia è particolarmente importante, poiché lo sporco tende ad aderire fortemente alla superficie in acciaio inox. Generalmente è sufficiente la pulizia con sostanze neutre, ma per la rimozione di depositi più aderenti si ricorre a materiali più specifici.

7.5.4. SCHERMATURA IN PTFE

Si consiglia una regolare operazione di pulizia finalizzata a rimuovere la polvere o lo sporco presente sulla superficie. Generalmente la frequenza di pulizia è annuale, ma essendo un sistema mobile inserita in una zona con alti livelli di inquinamento è bene eseguire il lavaggio ogni 4 mesi, controllando il corretto funzionamento delle azioni di apertura e chiusura focalizzandosi sui sistemi di fissaggio e azionamento.

7.5.5. IMPIANTO FOTOVOLTAICO

Al fine di verificare il corretto funzionamento dell'impianto è bene controllare lo stato dei collegamenti, del cablaggio e del quadro elettrico. In particolare, si dovrà porre attenzione alle spie/LED di segnalazione, ai dispositivi di manovra e protezione, verificando la loro effettiva efficienza.

7.5.6. SISTEMI DI PULIZIA E MANUTENZIONE IN ALTEZZA

Si prevede l'adozione di appositi sistemi in altezza che permettano di eseguire le azioni previste di manutenzione e pulizia in completa sicurezza.

PIATTAFORME IDRAULICHE

Per interventi di media importanza, con altezza massima di lavoro consentita variabile da 10 a 40 metri.

PIATTAFORME SOSPESSE TEMPORANEE

Per interventi di manutenzione straordinaria, è possibile installare travi a bandiera (DA-VIT) come mezzo di sospensione e una piattaforma con argani a bordo. La trave a bandiera è costituita da due elementi in alluminio, la colonna e il braccio, entrambi fissati a una piastra di ancoraggio sulla copertura, solidale con le strutture civili.

Le travi vengono spostate di volta in volta sulla zona a cui e quindi montate sulle piastre già predisposte. Il braccio della trave può ruotare, in modo da permettere l'uscita e il rientro della piattaforma sulla copertura con un movimento coordinato. La piattaforma presenta quindi due sospensioni e i cavi sono generalmente avvolti a bordo su due tamburi avvolgitori motorizzati.

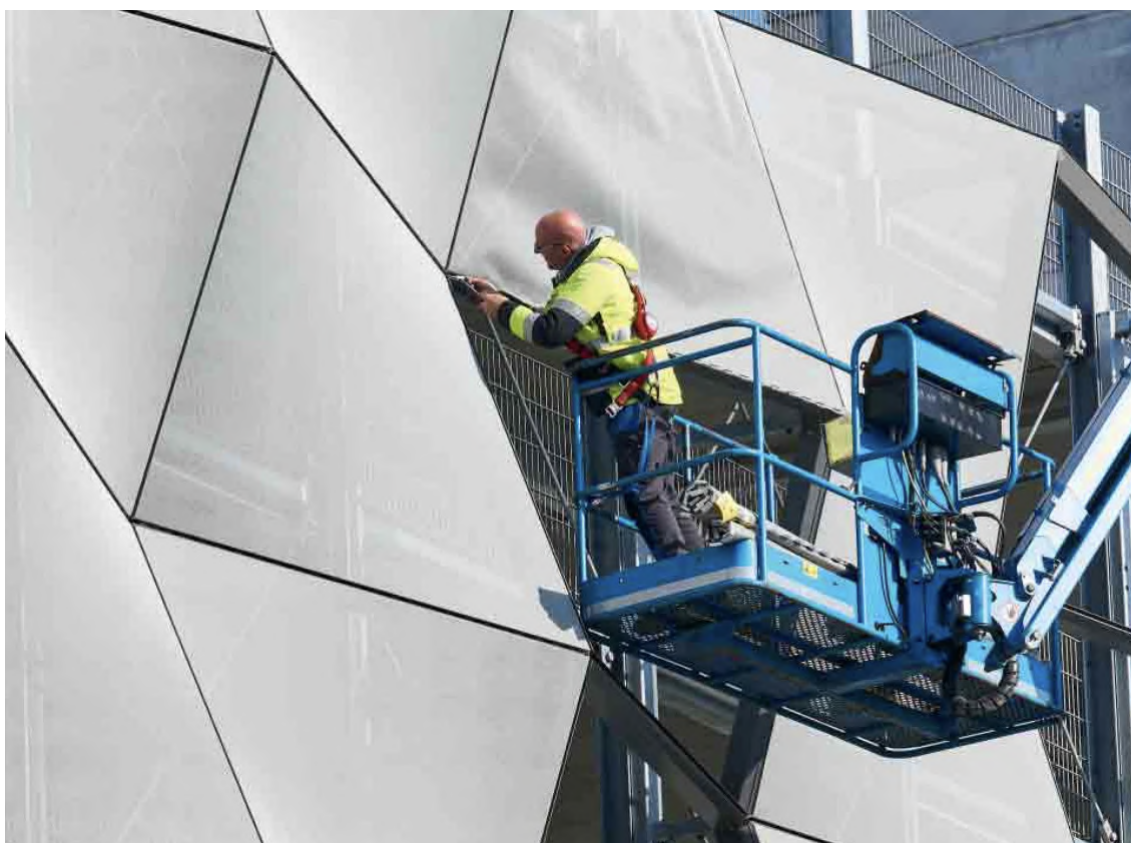


Figura VI.7.2. Manutenzione di schermature in ptf
Fonte immagine: Schüco FACID

Conclusioni

Il lavoro di ricerca ha dunque portato allo sviluppo di una facciata adattiva multifunzione che oltre a connotare l'implementazione tecnologica ed energetica dell'edificio, caratterizza esteticamente lo stesso e lo inserisce nel contesto urbano parigino, con l'obiettivo di rigenerare la nuova area per i Giochi Olimpici 2024. Si tratta dello sviluppo di una metodologia che potrebbe essere ampliata in caso di ricerca futura.





La caratteristica emblematica del progetto è stata la sua visione multidisciplinare. Infatti, a seguito di tutta l'argomentazione dei vari temi trattati, viene scelto il nome del progetto: "Hexalooop", come risultato della fusione e sinergia del progetto urbanistico con quello che scende a scala dell'edificio e nello specifico, dell'involucro adattivo.



Bibliografia

A

- Achilli E., Calicchio M., Armani N., Malvisi E., Annoni F., Cornelli M., Trespidi F., Minuto A., Celi E., Abagnale G., Rizzi S., Timò G., MOCVD growth and characterization of high efficiency (Al) InGaP solar cells for luminescent concentrators, *Journal of Crystal Growth*, Volume 607, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2023.127131>
- Aelenei D., Aelenei L., Pacheco Vieira C., *Adaptive Façade: Concept, Applications, Research Questions*, *Energy Procedia*, Volume 91, pp. 269-275, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.06.218>
- Aelenei L., Smyth M., Platzer W., Norton B., Kennedy D., Kalogirou S., Maurer C., *Solar Thermal Systems – Towards a Systematic Characterization of Building Integration*, *Energy Procedia*, Volume 91, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.06.256>
- Aldegheri F., Baricordi S., Bernardoni P., Brocato M., Calabrese G., Guidi V., Mondardini L., Pozzetti L., Tonezzer M., Vincenzi D., *Building integrated low concentration solar system for a self-sustainable Mediterranean villa: The Astonys shine house*, *Energy and Buildings*, Volume 77, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.058>
- Al Horr Y., Arif M., Kaushik A., Mazroei A., Katafygiotou M., Elsarrag E., *Occupant productivity and office indoor environment quality: A review of the literature*, *Building and Environment*, Volume 105, 2016, Pages 369-389. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.06.001>
- Alkhatib H., Lemarchand P., Norton B., O'Sullivan D.T.J., *Deployment and control of adaptive building facades for energy generation, thermal insulation, ventilation and daylighting: A review*, *Applied Thermal Engineering*, Volume 185, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116331>. Arrêté du 25 juin 1980, "Règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public (ERP)"
- Annibale, A., Chiesa E., Prelli G., Masera G., Kindinis A., Lapertot A., Allegri D., Zani G., *Technology to build architecture: application of adaptive façade on a new multifunctional arena*, *In Proceedings of the 8th International Conference on Smart City Applications (Accepted Paper, in press)*. Paris, France, 2023.
- ArcelorMittal, *Coque MD Origami*, Ed.1, 2021
- ArcelorMittal, *Guide des matières*, 2021
- Article R48-4 du Code de la santé publique, Chapitre 6, 2003
- Aste N., Tagliabue L.C., Del Pero C., Testa D., Fusco R., *Performance analysis of a large-area luminescent solar concentrator module*, *Renewable Energy*, Volume 76, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.026>
- Aste N, Tagliabue L.C Palladino P, Testa D, *Integration of a luminescent solar concentrator: Effects on daylight, correlated color temperature, illuminance level and color rendering index*, *Solar Energy* 2015. <https://hdl.handle.net/11311/1001711>
- *Atelier parisien d'urbanisme, Gérer les eaux pluviales à paris - Atlas du potentiel par bassin versant*, 2020
- *Atelier parisien d'urbanisme, La loi SRU et la « transition réglementaire » parisienne La question des ZAC (et des secteurs de plan masse)*, 2003
- *Atelier parisien d'urbanisme, Le diagnostic territorial du PLU*, 2021
- *Atelier parisien d'urbanisme, Paris et ses quartiers*, pp. 44-64, 2001
- *Atelier parisien d'urbanisme, Préservation et valorisation de la ressource en eau brute - Une gestion parisienne des eaux pluviales*, 2015
- *Atelier parisien d'urbanisme, Référentiel pour une gestion à la source des eaux pluviales dans la métropole - Cahier 1*, 2018
- Attia S., Bilir S., Safy T., Struck C., Loonen R., Goia F., *Current trends and future challenges in*

the performance assessment of adaptive façade systems, Energy and Buildings, Volume 179, pp. 165-182, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.09.017>

B

- *Bande L., Hamad H., Alqahtani D., Alnahdi N., Ghunaim, A. Fikry F., Alkhatib O., Design of Innovative Parametric/Dynamic Façade Integrated in the Library Extension Building on UAEU Campus, Buildings 2022. <https://doi.org/10.3390/buildings12081101>*
- *Baraclit spa, Ipersol, Bibbiena, 2018*
- *Battista G., Carnielo E., Evangelisti L., Frascarolo M., Vollaro RDL., Energy Performance and Thermal Comfort of a High Efficiency House: RhOME for denCity, Winner of Solar Decathlon Europe 2014., Sustainability. 2015. <https://doi.org/10.3390/su7079681>*
- *Bedon C., Honfi D., Machalická K.V., Eliášová M., Vokáč M., Kozłowski M., Wüest T., Santos F., Portal N.W., Structural characterisation of adaptive facades in Europe – Part I: Insight on classification rules, performance metrics and design methods, Journal of Building Engineering, Volume 25, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.02.013>*
- *Bedon C., Honfi D., Machalická K.V., Eliášová M., Vokáč M., Kozłowski M., Wüest T., Santos F., Portal N.W., Structural characterisation of adaptive facades in Europe - Part II: Validity of conventional experimental testing methods and key issues, Journal of Building Engineering, Volume 25, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.02.013>*
- *Bernardoni P., Tonezzer M., Vincenzi D., Baricordi S., Calabrese G., Guidi V., Optical and Electrical Characterization of Large Area LSC Systems, 31st European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 2015*
- *Bernardoni P., Zarccone R., Tonezzer M., Vincenzi D., Brocato M., Calabrese G., Guidi V., Baricordi S., Novel Luminescent Photovoltaic Roof Presented at Versailles during Solar Decathlon Europe 2014, 31st European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 2015. Bilan de la concertation préalable à la création d'une ZAC sur le secteur Gare des Mines – Fillettes, Délibération du Conseil de Paris 2019 DU 47*
- *BetonWood, Fibertherm floc - Isolamento termico in fiocchi di cellulosa, 2008*
- *Bui D.K., Nguyen T.N., Ghazlan A., Ngo N.T., Ngo T.D., Enhancing building energy efficiency by adaptive façade: A computational optimization approach, Applied Energy, Volume 265, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114797>*

C

- *Castelletto S., Boretti A., Luminescence solar concentrators: A technology update, Nano Energy, Volume 109, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2023.10826>*
- *Catto Lucchino E., Goia F., Multi-domain model-based control of an adaptive façade based on a flexible double skin system, Energy & Buildings 285, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.112881>*
- *Chemisana D., Building Integrated Concentrating Photovoltaics: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 15, Issue 1, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.017>*
- *Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018"*
- *Cluzet A., « Réconcilier le droit et la ville », Etudes Foncières n° 57, déc., pp. 15 - 18, 1992*
- *Colombert, Morgane, et al. "Analyse de cycle de vie à l'échelle du quartier : un outil d'aide à la décision? Le cas de la ZAC Claude Bernard à Paris (France)." Environnement urbain / Urban Environment, volume 5, 2011, p. c1–c21. <https://doi.org/10.7202/1007605ar>*
- *Construction et travaux publics, Charges de neige sur les constructions selon l'Eurocode 1, 2014*
- *Construction et travaux publics, Actions du vent sur les bâtiments selon l'Eurocode 1 – Partie 1-4, 2014*

D

- Daigle Q., O'Brien P.G., *Heat Generated Using Luminescent Solar Concentrators for Building Energy Applications*, *Energies*, 2020. <https://doi.org/10.3390/en13215574>
- Dataholz, *Catalogo di materiali di legno o a base legno e materiali da costruzione*, 2008
- Decreto 17 gennaio 2018, n.8 "Aggiornamento delle norme tecniche delle costruzioni"
- Decreto Ministeriale 18 marzo 1996, "Norme di sicurezza per la costruzione e l'esercizio degli impianti sportivi"
- Del Grosso A.E., Basso P., *Adaptive building skin structures*, *Smart Material and Structures*, Volume 19, 2010. DOI 10.1088/0964-1726/19/12/124011
- DELTA, DELTA®-TERRAXX, 02-2022
- *Diagnostic et prévisions territorial, PLU*, 2020
- Du H., Huang P., Jones P., *Modular facade retrofit with renewable energy technologies: The definition and current status in Europe*, *Energy and Buildings*, Volume 205, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109543>

E

- EN 12193: "Lumière et éclairage – Éclairage des installations sportives"
- *Equitone, Fibre cement facade materials, Planning and application guide*, 2021
- *Etude d'impact acoustique et vibratoire de la ZAC Gare des Mines Fillettes, Mairie de Paris*, 2019
- *Etude d'impact de la ZAC Gare des Mines Fillettes, Mairie de Paris*, 2018
- *Etude d'impact de la ZAC Gare des Mines Fillettes, Potentiel de développement des énergies renouvelables - Phase 1 « Ressource » - Rapport d'étape, Mairie de Paris*, 2018
- *Étude Air et Santé, Mairie de Paris*, 2019

F

- Faroldi E., Allegri D., Chierici P., Vettori M.P., *Progettare uno stadio architettura costruzione gestione, seconda edizione, ed. Maggioli*, 2022
- Faroldi E., *Architettura dello sport progettazione costruzione gestione delle infrastrutture sportive, ed. Maggioli*, 2019
- *Fassa Bortolo, KS9*, 2021
- *Fassa Bortolo, KF4*, 2021
- *Fassa Bortolo, K17*, 2021
- Feddersen A., Maennig W., *Arenas Versus Multifunctional Stadiums: Which Do Spectators Prefer?*, *Journal of Sports Economics*, Volume 10, Issue 2, pp.180–191, 2009. <https://doi.org/10.1177/1527002508323821>
- Fiorito F., Sauchelli M., Arroyo D., Pesenti M., Imperadori M., Masera G., Ranzi G., *Shape morphing solar shadings: A review*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 55, pp. 863-884, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.086>
- Flor J.F., Liu X., Sun Y., Beccarelli P., Chilton J., Wu Y., *Switching daylight: Performance prediction of climate adaptive ETFE foil façades*, *Building and Environment*, Volume 209, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108650>
- *Form AtWood, Hexago CM-D Acoustic series*, 2023

G

- Gallo P., Romano R., *Adaptive Facades, Developed with Innovative Nanomaterials, for a Sustai-*

- nable Architecture in the Mediterranean Area, *Procedia Engineering*, Volume 180, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.289>
- Generale prefabbricati S.p.A., *Spiroll*, Perugia, 2017
 - Gerflor, *LVT solutions*, 2023
 - Guardiglia L., Della Fornacea F., Casadeib O., Franib F., Nicolini L., Revelc G.M., Arnesanoc M., *Sviluppo di un prototipo di facciata continua con comportamento dinamico (SmartSkin)*, *Techne Journal of Technology for Architecture and Environment*, Volume 16, pp. 218-225, 2018. DOI: 10.13128/Techne-23108
 - Gustafs, *Gustafs Panel System*, *Technical data sheet*, 2023

H

- Hao Z., Zhang Z., Liu S., Cui Y., *Synthesis of wurtzite Cu₂ZnSnS₄ nanocrystals via solvothermal route and their application in photovoltaic devices*, *Materials Letters*, Volume 183, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2016.07.090>
- Hermann A.M., *Luminescent solar concentrators—A review*, *Solar Energy*, Volume 29, Issue 4, 1982. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(82\)90247-X](https://doi.org/10.1016/0038-092X(82)90247-X)
- Hernández-Rodríguez M. A., Correia S. F. H., Ferreira R. A. S., Carlos L. D. A., *A perspective on sustainable luminescent solar concentrators*, *Journal of Applied Physics*, Volume 131, 2022. <https://doi.org/10.1063/5.0084182>
- Habibi S., Valladares O.P., Peña D.M., *Sustainability performance by ten representative intelligent Façade technologies: A systematic review*, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Volume 52, Part A, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102001>
- Hosseini S.M., Mohammadi M., Rosemann A., Schröder T., Lichtenberg J., *A morphological approach for kinetic façade design process to improve visual and thermal comfort: Review*, *Building and Environment*, pp. 186-204, Volume 153, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.02.040>

I

- Ideatec, *Ideawood - Idealux FL*, 2023
- International Olympic Committee. (2005). *Technical Manual on Venues – Design Standards for Competition Venues*. https://www.london.gov.uk/sites/default/files/technical_manual_on_design_standards_for_competition_venues.pdf
- ISO 3382-1:2009, *Acoustique – “Mesurage des paramètres acoustiques des salles – Partie 1: Salles de spectacles”*
- ISO 3382-2:2008/Cor 1:2009, *Acoustique – “Mesurage des paramètres acoustiques des salles – Partie 2: Durée de réverbération des salles ordinaires — Rectificatif technique 1”*
- ISO 3382-3:2022, *Acoustique – “Mesurage des paramètres acoustiques des salles – Partie 3: Bureaux ouverts”*
- Isocell, *Fibra di cellulosa - Scheda prodotto*, 2020
- Isolconfort, *Linea pavimento - Radial Alu G pannello*, 2008
- Ivan Roosmalen M., Herrmann A., Kumar A., *A review of prefabricated self-sufficient facades with integrated decentralised HVAC and renewable energy generation and storage*, *Energy and Buildings*, Volume 248, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111107>
- Izadyar N., Miller W., Rismanchi B., Garcia-Hansen V., *Impacts of façade openings' geometry on natural ventilation and occupants' perception: A review*, *Building and Environment*, Volume 170, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106613>

J

- Jankovic A., Goia F., *Impact of double skin facade constructional features on heat transfer and fluid dynamic behaviour*, *Building and Environment*, Volume 196, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107796>
- Juaristi M., Gómez-Acebo T., Monge-Barrio A., *Qualitative analysis of promising materials and technologies for the design and evaluation of Climate Adaptive Opaque Façades*, *Building and Environment*, Volume 144, pp. 482-501, 2018
- Junckers, *Performing on Danish design*, 2023

K

- Karanouha A., Kerberb E., *Innovations in dynamic architecture The Al-Bahr Towers Design and delivery of complex facades.*, *Journal of Facade Design and Engineering* 3, pp.185–221, 2015. DOI 10.3233/FDE-150040
- Knauf Antincendio, *Manuale di Protezione Passiva*, 2021
- Knauf, *F 12 Sottofondi a secco*, 02/2007
- Knauf, *Knauf Diamant®*, 2014
- Knauf, *Knauf F2F - K474*, 2007
- Knauf, *Knauf GKB (A)*, 2011
- Knauf, *Idrolastra® Knauf GKI*, 2010
- Knauf, *Ignilastra® Knauf GKF (DF)*, 2018
- Knauf, *Vidiwall XL*, 2012
- Knauf Insulation, *DPF 40*, 2023
- Kumar A., Verma V., *Photovoltaic-grid hybrid power fed pump drive operation for curbing the intermittency in PV power generation with grid side limited power conditioning*, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Volume 82, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2016.03.018>

L

- Lee D., Cho Y.H., Jo J.H., *Assessment of control strategy of adaptive façades for heating, cooling, lighting energy conservation and glare prevention*, *Energy and Buildings*, Volume 235, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110739>
- Lévy A., « *La composition urbaine : un savoir-faire en crise* », in Genestier Ph. (dir.) *Vers un nouvel urbanisme. Faire la ville, comment ? Pour qui ?*, Paris, La Documentation Française, pp. 225-238, 1996
- Ligno Trend, *LIGNO Akustik Sport*, 2019
- Lior N., *Sustainable energy development: The present (2009) situation and possible paths to the future*, *Energy*, Volume 35, Issue 10, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.03.034>
- Loonen R.C.G.M., Trčka M., D. Cóstola, Hensen J.L.M., *Climate adaptive building shells: State-of-the-art and future challenges*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 25, pp. 483-493, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.04.016>
- López M., Rubio R., Martín S., Croxford B., *How plants inspire façades. From plants to architecture: Biomimetic principles for the development of adaptive architectural envelopes*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 67, pp. 692-703, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.018>

M

- Manni M., Petrozzi A., Coccia V., Nicolini A., Cotana F., *Investigating alternative development strategies for sport arenas based on active and passive systems*, *Journal of Building Engineer-*

- ring, Volume 31, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101340>.
- Mattiello S., Sanzone A., Bruni F., Gandini M., Pinchetti V., Monguzzi A., Facchinetti I., Ruffo R., Meinardi F., Mattioli G., Sassi M., Brovelli S., Beverina L., *Chemically Sustainable Large Stokes Shift Derivatives for High-Performance Large-Area Transparent Luminescent Solar Concentrators*, Joule, Volume 4, Issue 9, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.08.006>
 - Mapei, Mapei Mapeflor System, 2023
 - Mapei, Mapei Ultratop Loft, 2023
 - Meinardi F., Bruni F., Brovelli S., *Luminescent solar concentrators for building-integrated photovoltaics*, Nat Rev Mater 2, 2017. <https://doi.org/10.1038/natrevmats.2017.72>
 - Mercegaglia, Metal building envelope, Milano, 2013
 - Minh Le D., Yoon Park D., Baek J., Karunyasopon P., Chang S., *Multi-criteria decision making for adaptive façade optimal design in varied climates: Energy, daylight, occupants' comfort, and outdoor view analysis*, Building and Environment, Volume 223, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109479>
 - Motte A., « Nîmes : émergence locale d'une pensée globale de l'urbain et pratiques d'aménagement », in *Plan urbain, Qui fait la ville aujourd'hui ? Intervention de la puissance publique dans le processus de production urbaine ?*, Paris, Plan urbain, Direction de l'Architecture et de l'Urbanisme, pp. 45-69, 1997
 - Muteri V., Longo S., Traverso M., Palumbo E., Bua L., Cellura M., Testa D., Guarino F., *Life Cycle Assessment of Luminescent Solar Concentrators Integrated into a Smart Window*, Energies, 2023. <https://doi.org/10.3390/en16041869>

N

- NF EN 12464: "Lumière et éclairage – Éclairage des lieux de travail"
- NF S 31-080: "Acoustique – Bureaux et espaces associés - Niveaux et critères de performances acoustiques par type d'espace"
- NF S 31-199: "Acoustique – Performances acoustiques des espaces ouverts de bureaux"
- Novoceram, Chateau, 2023
- Novoceram, Iridium, 2023
- Novoceram, Teranga, 2023

P

- Pan W., Turrin M., Louter C., Sariyildiz S., Sun Y., *Integrating multi-functional space and long-span structure in the early design stage of indoor sports arenas by using parametric modeling and multi-objective optimization*, Journal of Building Engineering, Volume 22, pp. 464-485, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.01.006>
- Paverlife, Anversa, 2018
- Pellizzari building srl, Edilizia sportiva, Caille di Altivole, 2022
- Vicacoustic, Penray 01 Panels - Installation Manual, 2020
- Pesenti M., Masera G., Fiorito F., *Exploration of Adaptive Origami Shading Concepts through Integrated Dynamic Simulations*, Journal of Architectural Engineering, Volume 24, Issue 4, 2018. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000323](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000323)
- Pesenti M., Masera G., Fiorito F., Sauchelli M., *Kinetic Solar Skin: A Responsive Folding Technique*, Energy Procedia, Volume 70, pp. 661-672, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.02.174>
- Pesenti M., Masera G., Fiorito F., *Shaping an Origami Shading Device through Visual and Thermal Simulations*, Energy Procedia, Volume 78, pp. 346-351, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.663>
- *Projet d'aménagement et de développement durable, PLU*, 2018

R

- *Réglementation environnementale RE2020 – Décret 2022-305*
- *Réglementation thermique RT2012 – Arrêté 26 octobre 2010*
- *Réglementation thermique RT2012 – Arrêté 28 décembre 2012*
- Reichelstein S., Yorston M., *The prospects for cost competitive solar PV power, Energy Policy, Volume 55, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.11.003>*
- Rigone P., *Le facciate continue. La manutenzione dell'involucro edilizio vetrato, Maggioli Editore, 2011*
- Riwega, *USB Micro 230/20, 2015*
- Rizi R.A., Eltaweel A., *A user detective adaptive facade towards improving visual and thermal comfort, Journal of Building Engineering, Volume 33, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101554>*
- Rougier C., Mercier S., Vercammen M., *The acoustics of AccorHotels Arena and other large scale indoor pop venues., Forum Acusticum, pp.1907-1912, 2020. DOI: 10.48465/fa.2020.0960*

S

- Sadegh S.O., Gasparri E., Brambilla A., Globa A., *Kinetic facades: An evolutionary-based performance evaluation framework, Journal of Building Engineering, Volume 53, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104408>*
- Saint Gobain, *Isover XPS BT, R.08, 2023*
- Salhi B., *The Photovoltaic Cell Based on CIGS: Principles and Technologies, Materials 2022. doi: 10.3390/ma15051908*
- Sánchez-Ostiz A., Monge-Barrio A., Domingo-Irigoyen S., González-Martínez P., *Design and experimental study of an industrialized sunspace with solar heat storage, Energy and Buildings, Volume 80, pp. 231-246, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.05.031>*
- Sark W., Barnham K., Slooff L., Chatten A., Büchtemann A., Meyer A., McCormack S., Koole R., Farrell D., Bose R., Bende E., Burgers A., Budel T., Quilitz J., Kennedy M., Meyer T., Donegá C., Meijerink A., Vanmaekelbergh D., *Luminescent Solar Concentrators - A review of recent results, Optical Express, Volume 16, 2008. <https://doi.org/10.1364/OE.16.021773>*
- Scudo P.F., Abbondanza L., Fusco R., Caccianotti L., *Spectral converters and luminescent solar concentrators, Solar Energy Materials and Solar Cells, Volume 94, Issue 7, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2010.03.015>*
- Shafaghat A., Keyvanfar A., *Dynamic façades design typologies, technologies, measurement techniques, and physical performances across thermal, optical, ventilation, and electricity generation outlooks, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 167, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112647>*
- Schüco Facid, *The flexible façade, 2020*
- Smith D. E., Hughes M. D., B-Tasciuc D.-A., *Towards a standard approach for annual energy production of concentrator-based building-integrated photovoltaics, Renewable Energy, Volume 186, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.12.147>*
- Strong S., *Building Integrated Photovoltaics (BIPV), 2016*

T

- Tabadkani A., Roetzel A., Xian Li H., Tsangrassoulis A., *A review of automatic control strategies based on simulations for adaptive facades, Building and Environment, Volume 175, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106801>*
- Tabadkani A., Roetzel A., Xian Li H., Tsangrassoulis A., *Design approaches and typologies*

- of adaptive facades: A review, Automation in Construction, Volume 121, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103450>*
- Taşer A., Kundakçı Koyunbaba B., Kazanasmaz T., *Thermal, daylight, and energy potential of building-integrated photovoltaic (BIPV) systems: A comprehensive review of effects and developments, Solar Energy, Volume 251, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.12.039>*
 - Tensaform, *Sistemi ETFE di nuova generazione, 2020*
 - Tsoka S., *Optimizing Indoor Climate Conditions in a Sports Building Located in Continental Europe, Energy Procedia, Volume 78, pp. 2802-2807, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.630>*
 - Turan I., Chegut A., Fink D., Reinhart C., *The value of daylight in office spaces, Building and Environment, Volume 168, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106503>*

W

- Warner T., P. Ghiggino K., Rosengarten G., *A critical analysis of luminescent solar concentrator terminology and efficiency results, Solar Energy, Volume 246, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.09.011>*

Z

- Zarccone R., Brocato M., Bernardoni P., Vincenzi D., *Building Integrated Photovoltaic System for a Solar Infrastructure: Liv-lib' Project, Energy Procedia, Volume 91, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.06.255>*
- Zhang H., Yang X., Qiu N., Ni W., Zhang Q., Li M., Kan B., Wan X., Li C., Chen Y., *Oligothiophene based small molecules with a new end group for solution processed organic photovoltaics, Organic Electronics, Volume 33, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.orgel.2016.03.009>*
- Zhang T., Wang M., Yang H., *A Review of the Energy Performance and Life-Cycle Assessment of Building-Integrated Photovoltaic (BIPV) Systems, Energies. 2018. <https://doi.org/10.3390/en11113157>*

Sitografia

- | | |
|--|--|
| - aplustarchitecture.com | - parigi.it |
| - apur.org | - paris2024.org |
| - artribune.com | - parisinfo.com |
| - cartoviz.institutparisregion.fr | - paris.fr |
| - cittasostenibili.it | - paris-metropole-amenagement.fr |
| - domusweb.it | - plaine-commune.fr |
| - eau-artois-picardie.fr | - plu-en-ligne.paris.fr |
| - franciaturismo.net | - polito.it |
| - giardini-mondo.it | - semavip.fr |
| - eclercqassociates.fr | - viaggiamo.it |
| - energieplus-lesite.be | - wikipedia.org |
| - est-ensemble.fr | |
| - fastcompany.com | |
| - lemediaa.com | |
| - parigi.com | |



Vista esterna lato Periferique



Indice delle figure

Figura I.1.1. Regione dell'Île-de-France	06
Figura I.1.2. Dipartimento di Parigi all'interno della regione	06
Figura I.1.3. Vista di Parigi	07
Figura I.1.4. Area metropolitana di Parigi	07
Figura I.1.5. Veduta di Parigi	07
Figura I.1.6. Abitazioni del XVI secolo	07
Figura I.1.7. Mappa dei trasporti pubblici di Parigi	08
Figura I.1.8. Mappa dei quartieri "pilota" 100% accessibili	09
Figura I.1.9. Il ciclo dell'acqua	10
Figura I.1.10. Il "piccolo ciclo dell'acqua"	10
Figura I.1.11. La Senna	10
Figura I.1.12. Mappa della zonizzazione pluviale	11
Figura I.1.13. Innalzamento del suolo a Parigi	12
Figura I.1.14. Cave	12
Figura I.1.15. Profondità della falda freatica durante la prima metà del XIX secolo	12
Figura I.1.16. Profondità della falda freatica durante la seconda metà del XX secolo	13
Figura I.1.17. Profondità della falda freatica e ubicazione delle acque sotterranee nel 2012	13
Figura I.1.18. Mappa del sottosuolo parigino	13
Figura I.1.19. Rete di riscaldamento	14
Figura I.1.20. Rete di raffreddamento	14
Figura I.1.21. Posizione delle stazioni 3G/4G/5G in servizio	14
Figura I.1.22. Rete idrica non potabile	15
Figura I.1.23. Rete sanitaria	15
Figura I.1.24. Impermeabilizzazione delle città	15
Figura I.1.25. Mappa delle strade asfaltate di Parigi	15
Figura I.1.26. I 18 bacini idrografici	16
Figura I.1.27. Le superfici permeabili	17
Figura I.1.28. Parigi in età romana	18
Figura I.1.29. Parigi nel 1450	18
Figura I.1.30. Parigi nel 1550	18
Figura I.1.31. Parigi nel 1630	19
Figura I.1.32. Parigi nel 1853	19
Figura I.1.33. Nuova griglia stradale dopo il 1870	19
Figura I.1.34. Trasformazioni urbane settore Nord-Est di Parigi	20
Figura I.1.35. Parigi Nord-Est in trasformazione	20
Figura I.1.36. Reinventing Cities, Progetto Odissea Pleyel Saint-Denis	20
Figura I.1.37. Reinventing Cities, Progetto Porte de Montrueil	20
Figura I.1.38. Mappa delle trasformazioni urbane	21
Figura I.1.39. Principali ZAC	22
Figura I.1.40. Planimetria Parc de La Villette	22
Figura I.1.41. Schema Parc de La Villette	22
Figura I.1.42. Parco André Citroën	23
Figura I.1.43. Area ZAC Bercy	23
Figura I.1.44. Progetto Bercy-Charenton	23
Figura I.1.45. Collegamenti fra trasporto pubblico e l'area di Clichy-Batignolles	24
Figura I.1.46. Vista aerea dell'eco-quartiere di Clichy-Batignolles	24
Figura I.1.47. Vista dell'ecoquartiere	24
Figura I.1.48. Claude-Bernard nel complesso Paris-Nord-Est	25
Figura I.1.49. Vista degli edifici del settore Claude-Bernard	25
Figura I.2.1. Logo dei Giochi Olimpici e Paralimpici di Parigi 2024	26
Figura I.2.2. Il Villaggio Olimpico	26
Figura I.2.3. Grand Palais	28
Figura I.2.4. Accor Arena	28

<i>Figura I.2.5. Parc des Princes</i>	28
<i>Figura I.2.6. Cerimonia di apertura sulla Senna</i>	29
<i>Figura I.3.1. XVIII arrondissement</i>	30
<i>Figura I.3.2. Strada XVIII arrondissement</i>	30
<i>Figura I.3.3. Zone XVIII arrondissement</i>	31
<i>Figura I.3.4. Butte Montmatre</i>	31
<i>Figura I.3.5. Le Goutte d'Or</i>	31
<i>Figura I.3.6. Annessioni dopo il piano Haussmann</i>	33
<i>Figura I.3.7. Principali attività sportive XVIII e XIX arrondissement</i>	34
<i>Figura I.3.8. Principali attività sportive Parigi</i>	34
<i>Figura I.3.9. Una delle numerose Folies di Tschumi all'interno della Villette</i>	35
<i>Figura I.3.10. Parc des Buttes-Chaumont</i>	35
<i>Figura I.3.11. Parc Georges Valbon</i>	35
<i>Figura I.3.12. Spazi pedonali che percorrono la Senna</i>	36
<i>Figura I.3.13. Coulée Verte</i>	36
<i>Figura I.3.14. Coulée Verte</i>	36
<i>Figura I.3.15. Accessibilità nel 18° (a sinistra) e 19° arrondissement (a destra)</i>	38
<i>Figura I.3.16. Equipometro nel 18° (a sinistra) e 19° arrondissement (a destra) anno 2021</i>	38
<i>Figura I.3.17. Evoluzione della popolazione dal 1968 al 2018</i>	41
<i>Figura I.3.18. Piramide delle età della popolazione, Censimento anno 2018</i>	41
<i>Figura I.3.19. Popolazione attiva per categorie socioprofessionali, Censimento anno 2018</i>	43
<i>Figura I.3.20. Evoluzione del numero di abitanti e degli alloggi, Censimento anno 2018</i>	43
<i>Figura I.3.21. Saldo naturale della popolazione, Censimento della anno 2018</i>	43
<i>Figura I.3.22. Percorso del Grand Paris Express</i>	45
<i>Figura I.3.23. I canali di Parigi</i>	46
<i>Figura I.3.24. Porte de La Chapelle</i>	46
<i>Figura I.3.25. Boulevard Périphérique</i>	46
<i>Figura I.4.1. Vista dell'area</i>	48
<i>Figura I.4.2. Recinto di Thiers</i>	49
<i>Figura I.4.3. Cité Charles Hermite</i>	49
<i>Figura I.4.4. Station Gare des Mines</i>	49
<i>Figura I.4.5. Vista dell'area</i>	49
<i>Figura I.4.6. ZAC allo stato attuale</i>	53
<i>Figura I.4.7. ZAC in seguito al Progetto Urban di Leclercq</i>	53
<i>Figura I.4.8. Mappa urbana del Progetto Urban di Leclercq</i>	54
<i>Figura I.4.9. Sopralluogo</i>	60
<i>Figura I.4.10. Livello di inquinamento comune di Saint Ouen - fascia alta</i>	63
<i>Figura I.4.11. Livello di inquinamento 18° arrondissement - fascia media</i>	63
<i>Figura I.4.12. Mappa del rumore ore 06-22</i>	66
<i>Figura I.4.13. Mappa del rumore ore 22-06</i>	66
<i>Figura II.1.1. Principio di analisi della probabile evoluzione dell'ambiente</i>	77
<i>Figura II.1.2. Mappa della variante 1</i>	80
<i>Figura II.1.3. Mappa della variante 2</i>	81
<i>Figura II.1.4. Logo e motto del progetto urbanistico</i>	82
<i>Figura II.1.5. Declinazione delle tematiche in obiettivi di progetto</i>	84
<i>Figura II.1.6. Concept map</i>	90
<i>Figura II.1.7. Valori dell'impatto con lo scenario 1</i>	118
<i>Figura II.1.8. Valori dell'impatto con lo scenario 2</i>	118
<i>Figura II.1.9. Mappa del rumore ore 06-22</i>	119
<i>Figura II.1.10. Mappa del rumore ore 22-06</i>	119
<i>Figura II.1.11. Confronto fra scenari</i>	120
<i>Figura II.1.12. Paris, Boulevard Périphérique. Stato attuale e previsione 2030.</i>	128
<i>Figura II.1.13. Paris, Ville du quart d'heure et ULLs</i>	129
<i>Figura II.2.1. Disegno dei cerchi all'interno del masterplan</i>	131
<i>Figura II.2.2. Schema del ribassamento</i>	132
<i>Figura II.2.3. Schema dei collegamenti</i>	132

<i>Figura II.2.4. Deimpermeabilizzazione del suolo</i>	133
<i>Figura II.2.5. Impatto dell'acqua sullo sviluppo degli alberi</i>	133
<i>Figura II.2.6. Impatto del microclima urbano sullo sviluppo degli alberi</i>	133
<i>Figura II.2.7. Acqua ed edifici, inizio XIX secolo</i>	134
<i>Figura II.2.8. Acqua ed edifici, dalla fine del XIX-XXI secolo fino ai giorni nostri</i>	134
<i>Figura II.2.9. Riconversione parcheggi su strada</i>	134
<i>Figura II.2.10. Esempio di attuazione delle strategie su Avenue Jean Jaurès</i>	135
<i>Figura II.2.11. Nuova canalizzazione dell'acqua negli edifici</i>	136
<i>Figura II.2.12. Creazione di buche di piantumazione</i>	136
<i>Figura II.2.13. Filari di alberi continui lungo la pista ciclabile</i>	136
<i>Figura II.2.14. Permeabilità del suolo nel parco</i>	137
<i>Figura II.2.15. Raccolta dell'acqua nella piazza dell'Arena</i>	137
<i>Figura II.2.16. Rampe per skateboard</i>	138
<i>Figura II.2.17. Rampe per skateboard</i>	138
<i>Figura II.2.18. Stand per il noleggio dell'attrezzatura</i>	138
<i>Figura II.2.19. Area roller</i>	138
<i>Figura II.2.20. Schema funzionale</i>	139
<i>Figura II.2.21. Sezioni ambientali</i>	141
<i>Figura II.2.22. Viste assonometriche</i>	143
<i>Figura III.1.1. Stadio greco di Mileto</i>	147
<i>Figura III.1.2. Olimpiadi di Roma 1960</i>	147
<i>Figura III.1.3. Sketch di studio dello Stadio San Siro</i>	148
<i>Figura III.1.4. Progetto Accor Arena</i>	148
<i>Figura III.1.5. Progetto Accor Arena</i>	148
<i>Figura III.1.6. Accor Arena</i>	149
<i>Figura III.1.7. Vista interna dell'Accor Arena</i>	149
<i>Figura III.1.8. Sala concerti Accor Arena</i>	150
<i>Figura III.1.9. Zenith Arena</i>	150
<i>Figura III.1.10. Sala interna Zenith Arena</i>	150
<i>Figura III.1.11. Sud de France Arena</i>	150
<i>Figura III.1.12. Ingresso Sud de France Arena</i>	151
<i>Figura III.1.13. Sala interna Sud de France Arena</i>	151
<i>Figura III.1.14. Zenith de Lille</i>	151
<i>Figura III.1.15. Scale interne Zenith de Lille</i>	151
<i>Figura III.1.16. Zenith Music Hall</i>	152
<i>Figura III.1.17. Ingresso Zenith Music Hall</i>	152
<i>Figura III.1.18. Sala Zenith Music Hall</i>	152
<i>Figura III.1.19. Render esterno Palaltalia</i>	152
<i>Figura III.1.20. Sala interna Palaltalia</i>	153
<i>Figura III.1.21. Render esterno Cathedral Stadium</i>	153
<i>Figura III.1.22. Render campo da gioco Cathedral Stadium</i>	153
<i>Figura III.2.1. Venue area concept</i>	155
<i>Figura III.2.2. Venue concept</i>	155
<i>Figura III.2.3. Back of House concept</i>	155
<i>Figura III.2.4. Front of House concept</i>	155
<i>Figura III.2.5. Distanze a piedi per i vari utilizzatori dell'impianto sportivo</i>	156
<i>Figura III.2.6. Dimensioni raccomandate per le sedute dell'impianto sportivo</i>	156
<i>Figura III.2.7. Schema parterre per concerto (a sinistra) e per evento sportivo (a destra)</i>	157
<i>Figura III.2.8. Calcoli posti a sedere tribune telescopiche</i>	157
<i>Figura III.2.9. Schema primo anello</i>	158
<i>Figura III.2.10. Calcoli posti a sedere per settore primo anello</i>	158
<i>Figura III.2.11. Calcoli posti a sedere totali primo anello</i>	158
<i>Figura III.2.12. Schema secondo anello</i>	159
<i>Figura III.2.13. Calcoli posti a sedere per settore secondo anello</i>	159
<i>Figura III.2.14. Calcoli posti a sedere totali secondo anello</i>	159
<i>Figura III.2.15. Schema grafico a fini rappresentativi per il calcolo delle tribune</i>	160

Figura III.2.16. Schema grafico a fini rappresentativi per il dimensionamento degli spalti	161
Figura III.2.17. Dati riassuntivi del dimensionamento degli spalti	161
Figura III.2.18. Densità di affollamento per tipologia di attività	164
Figura III.2.19. Calcolo e dimensionamento uscite di sicurezza	168
Figura III.2.20. Dimensioni standard sedia a rotelle	181
Figura III.2.21. Spazio di manovra sedia a rotelle	181
Figura III.2.22. Dimensione dei parcheggi per il passaggio di una sedia a rotelle	182
Figura III.2.23. Raggi sonori in ambiente	184
Figura III.2.24. Livello sonoro in funzione del tempo per un suono breve	184
Figura III.2.25. Isolamento minimo normalizzato in dB tra locali minimi adiacenti	186
Figura III.2.26. Isolamento minimo normalizzato in dB tra locali minimi adiacenti	187
Figura III.2.27. Prestazioni acustiche uffici	187
Figura III.2.28. Prestazioni illuminotecniche ottimali per spazi differenziati	189
Figura III.2.29. Zone climatiche	190
Figura III.2.30. Classi di esposizione	191
Figura III.2.31. Categorie CE1 e CE2	192
Figura III.2.32. Coefficiente moltiplicatore per la S_{RT}	193
Figura III.2.33. Coefficiente di modulazione $M_{c\text{type}}$	194
Figura III.2.34. Coefficiente di modulazione $M_{c\text{géo}}$ per categoria CE2	194
Figura III.2.35. Coefficiente di modulazione $M_{c\text{alt}}$ per categoria CE2	195
Figura III.2.36. Coefficiente di modulazione $M_{c\text{surf}}$	195
Figura III.2.37. Coefficiente di modulazione $M_{c\text{GES}}$ collegamento contemporaneo	196
Figura III.2.38. Coefficiente di modulazione $M_{c\text{GES}}$	196
Figura III.2.39. Coefficiente di modulazione $B_{\text{bio}}^{\text{maxmoyen}}$	197
Figura III.2.40. Coefficiente di modulazione $M_{b\text{géo}}$ per categoria CE2	198
Figura III.2.41. Coefficiente di modulazione $M_{b\text{alt}}$ per categoria CE2	198
Figura III.2.42. Coefficiente di modulazione $M_{b\text{surf}}$	199
Figura III.2.43. Fattore solare di riferimento delle aperture	200
Figura III.2.44. Coefficiente di modulazione $B_{\text{bio}}^{\text{maxmoyen}}$	203
Figura III.2.45. Coefficiente di modulazione $M_{b\text{géo}}$	203
Figura III.2.46. Coefficiente di modulazione $M_{b\text{surf_tot}}$	204
Figura III.2.47. Coefficiente di modulazione $M_{b\text{bruit}}$	204
Figura III.2.48. Coefficiente di modulazione $C_{ep,nr}^{\text{maxmoyen}}$ e C_{ep}^{maxmoyen}	205
Figura III.2.49. Coefficiente di modulazione $I_{c}^{\text{énergie_maxmoyen}}$	205
Figura III.2.50. Coefficiente di modulazione $M_{c\text{géo}}$	206
Figura III.2.51. Coefficiente di modulazione $M_{b\text{surf_tot}}$	206
Figura III.2.52. Coefficiente di modulazione DH^{maxcat}	207
Figura III.2.53. Valori di C_{ep_max} e $B_{\text{bio}}^{\text{max}}$ suddivisi per locale	209
Figura III.2.54. Valori di C_{ep_max} totali	210
Figura III.2.55. Valori di $B_{\text{bio}}^{\text{max}}$ totali	210
Figura III.2.56. Valori di $B_{\text{bio}}^{\text{max}}$, C_{ep_max} , C_{ep,nr_max} e $I_{c}^{\text{énergie_max}}$ suddivisi per locale	213
Figura III.2.57. Valori di $B_{\text{bio}}^{\text{max}}$ totali	214
Figura III.2.58. Valori di C_{ep_max} totali	214
Figura III.2.59. Valori di C_{ep,nr_max} totali	215
Figura III.2.60. Valori di $I_{c}^{\text{énergie_max}}$ totali	215
Figura III.3.1. Percorso solare in solstizi ed equinozi	217
Figura III.3.2. Processo seguito per la progettazione dell'edificio	219
Figura III.3.3. Radiazione solare incidente media a Dicembre sui vari fronti dell'edificio	220
Figura III.3.4. Radiazione solare incidente media a Luglio sui vari fronti dell'edificio	220
Figura III.3.5. Rapporti fra superfici opache e trasparenti sui fronti dell'edificio	220
Figura III.4.1. Composizione dei volumi, con pieni e vuoti	222
Figura III.4.2. Formazione del blocco centrale arena a piramide inversa	223
Figura III.4.3. Layout funzionale piano -2	224
Figura III.4.4. Layout funzionale piano -1	224
Figura III.4.5. Layout funzionale piano terra	225
Figura III.4.6. Layout funzionale piano +1	225

Figura III.4.7. Layout funzionale piano +2	225
Figura III.4.8. Prospetto nord	226
Figura III.4.9. Prospetto est	228
Figura III.4.10. Prospetto sud	230
Figura III.4.11. Prospetto ovest	232
Figura III.4.12. Vista esterna dell'edificio dalla piazza di ingresso	234
Figura III.4.13. Vista interna dell'arena sportiva	236
Figura IV.1.1. Tabella carichi per dimensionamento alveolari	243
Figura IV.1.2. Tabella per dimensionamento alveolari	243
Figura IV.1.3. Tabella carichi per dimensionamento lamiera solaio interpiano	243
Figura IV.1.4. Tabella per dimensionamento lamiera (sopra)	244
Figura IV.1.5. Tabella per determinazione G1 lamiera (sinistra)	244
Figura IV.1.6. Tabella carichi per dimensionamento lamiera solaio copertura	244
Figura IV.1.7. Tabella per dimensionamento lamiera (sopra)	244
Figura IV.1.8. Tabella per determinazione G1 lamiera (sinistra)	244
Figura IV.1.9. Sovraccarichi per categoria d'uso delle costruzioni	246
Figura IV.1.10. Valori dei coefficienti di combinazione	246
Figura IV.1.11. Riassunto carichi	246
Figura IV.1.12. Risultati combinazioni	246
Figura IV.1.13. Riassunto carichi	247
Figura IV.1.14. Risultati combinazioni	247
Figura IV.1.15. Carichi considerati in fase di predimensionamento	247
Figura IV.1.16. Dati profilo di trave secondaria scelto	248
Figura IV.1.17. Carichi considerati in fase di predimensionamento	252
Figura IV.1.18. Dati profilo di trave secondaria scelto	252
Figura IV.1.19. Carichi considerati in fase di predimensionamento	256
Figura IV.1.20. Dati profilo di trave primaria scelto	256
Figura IV.1.21. Valori considerati per calcolo freccia elastica	258
Figura IV.1.22. Carichi considerati in fase di predimensionamento	261
Figura IV.1.23. Dati profilo di trave primaria scelto	262
Figura IV.1.24. Valori considerati per calcolo freccia elastica	263
Figura IV.1.25. Dati carichi interpiano	266
Figura IV.1.26. Dati carichi copertura	266
Figura IV.1.27. Verifica sezionale	267
Figura IV.1.28. Dati riassuntivi verifica a stabilità rispetto asse y	268
Figura IV.1.29. Dati riassuntivi verifica a stabilità rispetto asse z	269
Figura IV.1.30. Parametri per la velocità di base di riferimento s.l.m $v_{b,0}$	269
Figura IV.1.31. Definizione delle categorie di terreno ed esposizione	270
Figura IV.1.32. Coefficienti di esposizione calcolati sui piani fuori terra dell'edificio	272
Figura IV.1.33. Coefficienti di esposizione calcolati sui piani fuori terra dell'edificio	273
Figura IV.1.34. Calcoli per la determinazione dei coefficienti globali di pressione esterna c_{pe}	273
Figura IV.1.35. Schema della pressione del vento in direzione x (in alto a sinistra)	274
Figura IV.1.36. Schema della pressione del vento in direzione y (in basso a sinistra)	274
Figura IV.1.37. Calcolo della pressione del vento (in alto)	274
Figura IV.1.38. Dati riassuntivi per il calcolo delle risultanti per piano in direzione x	274
Figura IV.1.39. Dati riassuntivi per il calcolo delle risultanti per piano in direzione y	275
Figura IV.1.40. Schematizzazione delle forze di taglio e momento del vento	275
Figura IV.2.1. Tabella riassuntiva carichi pacchetti tecnologici	276
Figura IV.2.2. Tabella riassuntiva carichi variabili	276
Figura IV.2.3. Tabella carichi per dimensionamento alveolari	277
Figura IV.2.4. Tabella per dimensionamento alveolari	277
Figura IV.2.5. Solaio scelto	277
Figura IV.2.6. Tabella carichi per dimensionamento lamiera	277
Figura IV.2.7. Tabella per dimensionamento lamiera (sopra)	278
Figura IV.2.8. Tabella per determinazione G1 lamiera (sinistra)	278
Figura IV.2.9. Tabella carichi per dimensionamento lamiera	278

Figura IV.2.10. Tabella per dimensionamento lamiera	278
Figura IV.2.11. Tabella per determinazione G1 lamiera	279
Figura IV.2.12. Sovraccarichi per categoria d'uso delle costruzioni	280
Figura IV.2.13. Valori dei coefficienti di combinazione	280
Figura IV.2.14. Coefficienti parziali per le azioni nelle verifiche SLU	280
Figura IV.2.15. Riassunto carichi	280
Figura IV.2.16. Risultati combinazioni	281
Figura IV.2.17. Riassunto carichi	281
Figura IV.2.18. Risultati combinazioni	281
Figura IV.2.19. Carichi considerati in fase di predimensionamento	282
Figura IV.2.20. Dati profilo di trave secondaria scelto	282
Figura IV.2.21. Verifica freccia massima elastica	282
Figura IV.2.22. Verifica freccia elastica δ_2	283
Figura IV.2.23. Verifica momento flettente	283
Figura IV.2.24. Verifica azione tagliante	283
Figura IV.2.25. Carichi considerati in fase di predimensionamento	283
Figura IV.2.26. Dati profilo di trave secondaria scelto	284
Figura IV.2.27. Verifica freccia massima elastica	284
Figura IV.2.28. Verifica freccia elastica δ_2	284
Figura IV.2.29. Verifica momento flettente	285
Figura IV.2.30. Verifica azione tagliante	285
Figura IV.2.31. Carichi considerati in fase di predimensionamento	286
Figura IV.2.32. Dati profilo di trave secondaria scelto	286
Figura IV.2.33. Verifica freccia massima elastica 1	286
Figura IV.2.34. Verifica freccia massima elastica 2	287
Figura IV.2.35. Verifica freccia elastica δ_2	287
Figura IV.2.36. Verifica momento flettente 1	287
Figura IV.2.37. Verifica momento flettente 2	287
Figura IV.2.38. Verifica azione tagliante 1	288
Figura IV.2.39. Verifica azione tagliante 2	288
Figura IV.2.40. Carichi considerati in fase di predimensionamento	288
Figura IV.2.41. Dati profilo di trave secondaria scelto	289
Figura IV.2.42. Verifica freccia massima elastica 1	289
Figura IV.2.43. Verifica freccia massima elastica 2	289
Figura IV.2.44. Verifica freccia elastica δ_2	289
Figura IV.2.45. Verifica momento flettente 1	290
Figura IV.2.46. Verifica momento flettente 2	290
Figura IV.2.47. Verifica azione tagliante 1	290
Figura IV.2.48. Verifica azione tagliante 2	290
Figura IV.2.49. Dati carichi interpiano	291
Figura IV.2.50. Dati carichi copertura	291
Figura IV.2.51. Verifica sezionale	291
Figura IV.2.52. Dati riassuntivi verifica a stabilità rispetto asse y	292
Figura IV.2.53. Dati riassuntivi verifica a stabilità rispetto asse z	293
Figura IV.3.1. Tabella riassuntiva carichi pacchetti tecnologici	294
Figura IV.3.2. Tabella riassuntiva carichi variabili	294
Figura IV.3.3. Tabella carichi per dimensionamento alveolari	295
Figura IV.3.4. Tabella per dimensionamento alveolari	295
Figura IV.3.5. Solaio scelto	295
Figura IV.3.6. Tabella carichi per dimensionamento lamiera	295
Figura IV.3.7. Tabella per dimensionamento lamiera (sopra)	296
Figura IV.3.8. Tabella per determinazione G1 lamiera (sinistra)	296
Figura IV.3.9. Tabella carichi per dimensionamento lamiera	296
Figura IV.3.10. Tabella per dimensionamento lamiera	296
Figura IV.3.11. Tabella per dimensionamento lamiera (sopra)	296
Figura IV.3.12. Tabella per determinazione G1 lamiera (sinistra)	296

Figura IV.3.13. Sovraccarichi per categoria d'uso delle costruzioni	297
Figura IV.3.14. Valori dei coefficienti di combinazione	297
Figura IV.3.15. Coefficienti parziali per le azioni nelle verifiche SLU	297
Figura IV.3.16. Riassunto carichi	297
Figura IV.3.17. Risultati combinazioni	298
Figura IV.3.18. Riassunto carichi	298
Figura IV.3.19. Risultati combinazioni	298
Figura IV.3.20. Carichi considerati in fase di predimensionamento	299
Figura IV.3.21. Dati profilo di trave secondaria scelto	299
Figura IV.3.22. Verifica freccia massima elastica	299
Figura IV.3.23. Verifica freccia elastica δ_2	300
Figura IV.3.24. Verifica momento flettente	300
Figura IV.3.25. Verifica azione tagliante	300
Figura IV.3.26. Carichi considerati in fase di predimensionamento	300
Figura IV.3.27. Dati profilo di trave secondaria scelto	301
Figura IV.3.28. Verifica freccia massima elastica	301
Figura IV.3.29. Verifica freccia elastica δ_2	301
Figura IV.3.30. Verifica momento flettente	302
Figura IV.3.31. Verifica azione tagliante	302
Figura IV.3.32. Carichi considerati in fase di predimensionamento	303
Figura IV.3.33. Dati profilo di trave secondaria scelto	303
Figura IV.3.34. Verifica freccia massima elastica 1	303
Figura IV.3.35. Verifica freccia massima elastica 2	304
Figura IV.3.36. Verifica freccia elastica δ_2	304
Figura IV.3.37. Verifica momento flettente 1	304
Figura IV.3.38. Verifica momento flettente 2	304
Figura IV.3.39. Verifica azione tagliante 1	305
Figura IV.3.40. Verifica azione tagliante 2	305
Figura IV.3.41. Carichi considerati in fase di predimensionamento	305
Figura IV.3.42. Dati profilo di trave secondaria scelto	306
Figura IV.3.43. Verifica freccia massima elastica 1	306
Figura IV.3.44. Verifica freccia massima elastica 2	306
Figura IV.3.45. Verifica freccia elastica δ_2	306
Figura IV.3.46. Verifica momento flettente 1	307
Figura IV.3.47. Verifica momento flettente 2	307
Figura IV.3.48. Verifica azione tagliante 1	307
Figura IV.3.49. Verifica azione tagliante 2	307
Figura IV.3.50. Dati carichi interpiano	308
Figura IV.3.51. Dati carichi copertura	308
Figura IV.3.52. Verifica sezionale	308
Figura IV.3.53. Dati riassuntivi verifica a stabilità rispetto asse y	309
Figura IV.3.54. Dati riassuntivi verifica a stabilità rispetto asse z	310
Figura IV.3.55. Struttura dell'edificio, vista sud-est	311
Figura IV.3.56. Struttura dell'edificio, vista nord-ovest	311
Figura IV.4.1. Esploso del sistema degli spalti (in alto)	313
Figura IV.4.2. Sezione di incastro tra gradoni (in basso)	313
Figura IV.4.3. Valori inseriti in SAP2000 per la verifica della copertura	314
Figura IV.4.4. Esploso blocco sportivo	315
Figura IV.4.5. Esempio di area di influenza di un nodo	316
Figura IV.4.6. Esempio carico agente su ogni nodo (in relazione ad area di influenza)	316
Figura IV.4.7. Dimensione profili delle travi reticolari	316
Figura IV.4.8. Modello tridimensionale della copertura su SAP2000	317
Figura IV.4.9. Deformazione massima copertura	317
Figura IV.5.1. Verifica SLE	319
Figura IV.5.2. Dati armatura longitudinale	320
Figura IV.5.3. Verifica SLU	320

<i>Figura V.1.1. Colorazione texture in rame</i>	324
<i>Figura V.1.2. Texture ptfe in fibra di vetro</i>	324
<i>Figura V.1.3. Sistema di protezione al fuoco passiva per sistemi in acciaio</i>	325
<i>Figura V.2.1. Valori massimi della radiazione solare incidente</i>	328
<i>Figura V.2.2. Caratteristiche tecniche del pannello fotovoltaico</i>	329
<i>Figura V.2.3. Pianta della copertura</i>	330
<i>Figura V.2.4. Calcolo energia elettrica prodotta dal sistema fotovoltaico</i>	330
<i>Figura V.2.5. Render dell'edificio</i>	331
<i>Figura VI.1.1. Bold Project</i>	334
<i>Figura VI.1.2. Al Bahar Towers</i>	334
<i>Figura VI.1.3. Sistema di classificazione delle facciate adattive</i>	335
<i>Figura VI.1.4. Interrelazioni tramite gli aspetti connotanti delle facciate adattive</i>	336
<i>Figura VI.1.5. Indicatori chiave di performance delle facciate adattive</i>	337
<i>Figura VI.1.6. Nuove tecnologie applicabili ai sistemi adattivi</i>	338
<i>Figura VI.1.7. Variazione di una vetrata termocromica</i>	339
<i>Figura VI.1.8. Funzionamento di un vetro isolante elettrocromico</i>	339
<i>Figura VI.1.9. Principio di funzionamento di una facciata fotovoltaica</i>	339
<i>Figura VI.1.10. Funzionamento di un vetro oscurante</i>	339
<i>Figura VI.1.11. Facciata con combinazione PV-termoelettrico</i>	340
<i>Figura VI.1.12. Facciata con isolamento a parete opaca commutabile</i>	340
<i>Figura VI.1.13. Facciata con isolamento a parete trasparente commutabile</i>	340
<i>Figura VI.1.14. Funzionamento diodo termico bidirezionale</i>	341
<i>Figura VI.1.15. Facciata con ventilazione decentralizzata</i>	341
<i>Figura VI.1.16. Aspetto di una facciata con bioreattori</i>	341
<i>Figura VI.1.17. Configurazione di una griglia di corpi rigidi</i>	344
<i>Figura VI.1.18. Configurazione di una griglia di strutture pieghevoli</i>	344
<i>Figura VI.1.19. ICT-MEDIA, Barcelona</i>	345
<i>Figura VI.1.20. Moravian Library, Brno</i>	345
<i>Figura VI.1.21. BIQ House, Germania</i>	345
<i>Figura VI.1.22. Institut du Mond Arabe</i>	346
<i>Figura VI.1.23. GSW Headquarters, Berlino</i>	346
<i>Figura VI.1.24. Hyposurface, Spagna</i>	346
<i>Figura VI.1.25. EWE Arena, Oldenburg</i>	347
<i>Figura VI.1.26. Kiefer Technic Showroom, Austria</i>	347
<i>Figura VI.1.27. Bloom Project, Los Angeles</i>	347
<i>Figura VI.1.28. Testing di moduli integrati con PCM</i>	348
<i>Figura VI.1.29. Macroscale di un elemento adattivo di facciata</i>	348
<i>Figura VI.1.30. Sistema di alimentazione e feedback</i>	348
<i>Figura VI.1.31. Tipologie di parametri di controllo</i>	349
<i>Figura VI.2.1. Prospetti a cui è applicato il sistema di facciata adattiva</i>	353
<i>Figura VI.2.2. Concept di facciata derivante dall'osservazione della primula dei giardini</i>	354
<i>Figura VI.2.3. Composizione a partire dalla biomimetica del fiore</i>	356
<i>Figura VI.2.4. Schema esemplificativo dei moduli di facciata</i>	356
<i>Figura VI.2.5. Movimentazione dei moduli di facciata tramite gli origami</i>	357
<i>Figura VI.2.6. Determinazione di punti e segmenti del modulo</i>	358
<i>Figura VI.2.7. Costruzione del modulo cinetico di facciata</i>	359
<i>Figura VI.3.1. BIPV in copertura</i>	360
<i>Figura VI.3.2. BIPV in facciata</i>	360
<i>Figura VI.3.3. Diagramma di un sistema BIPV</i>	362
<i>Figura VI.3.4. Schema delle tre generazioni di celle fotovoltaiche</i>	364
<i>Figura VI.3.5. Rappresentazione dello stack standard di una cella solare CIGS</i>	365
<i>Figura VI.3.6. Sistema lineare di Fresnel</i>	365
<i>Figura VI.3.7. Sistema Fresnel a fuoco puntiforme</i>	366
<i>Figura VI.3.8. Riflettore di Fresnel a due assi di Bifres</i>	366
<i>Figura VI.3.9. Finestre fotovoltaiche a concentrazione solare luminescenti</i>	367
<i>Figura VI.3.10. Meccanismo nel LSC</i>	369

<i>Figura VI.3.11. L-LSC a doppio strato con QD verdi e rossi</i>	369
<i>Figura VI.3.12. Tipi di cromofori LSC e copertura spettrale ottenibile</i>	370
<i>Figura VI.3.13. Schema delle cinque tipologie di LSC planari</i>	373
<i>Figura VI.3.14. Configurazioni di specchi utilizzate nella simulazione di ray-tracing</i>	374
<i>Figura VI.3.15. Schema generale della procedura per determinare E_{mpp}</i>	379
<i>Figura VI.3.16. Principali applicazioni previste per LSC.</i>	387
<i>Figura VI.3.17. Prototipo SW-LSC.</i>	388
<i>Figura VI.4.1. Miglioramento dell'ambiente di lavoro grazie alla luce diurna</i>	390
<i>Figura VI.4.2. Pianta piano terra e individuazione uffici caso studio</i>	393
<i>Figura VI.4.3. Assonometria del caso studio, modello Rhino</i>	394
<i>Figura VI.4.4. Assonometria del caso studio, modello Honeybee</i>	394
<i>Figura VI.4.5. Identificazione griglia di sensori</i>	394
<i>Figura VI.4.6. Daylight Autonomy (DA) - [%]</i>	396
<i>Figura VI.4.7. Spatial Daylight Autonomy (sDA) - [%]</i>	396
<i>Figura VI.4.8. Useful Daylight Illuminance (UDI) - [%]</i>	396
<i>Figura VI.4.9. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]</i>	396
<i>Figura VI.4.10. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]</i>	396
<i>Figura VI.4.11. Glare Autonomy (GA) - [%]</i>	396
<i>Figura VI.4.12. Daylight Factor (DF) - [%]</i>	396
<i>Figura VI.4.13. CP1</i>	397
<i>Figura VI.4.14. CP2</i>	397
<i>Figura VI.4.15. CP3</i>	397
<i>Figura VI.4.16. CP4</i>	397
<i>Figura VI.4.17. Daylight Autonomy (DA), CP1.1 - [%]</i>	398
<i>Figura VI.4.18. Spatial Daylight Autonomy (sDA), CP1.1 - [%]</i>	398
<i>Figura VI.4.19. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low), CP1.1 - [%]</i>	398
<i>Figura VI.4.20. Daylight Factor (DF), CP1.1 - [%]</i>	398
<i>Figura VI.4.21. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up), CP2.1 - [%]</i>	398
<i>Figura VI.4.22. Glare Autonomy (GA), CP2.1 - [%]</i>	398
<i>Figura VI.4.23. Daylight Autonomy (DA), CP1.2 - [%]</i>	399
<i>Figura VI.4.24. Spatial Daylight Autonomy (sDA), CP1.2 - [%]</i>	399
<i>Figura VI.4.25. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low), CP1.2 - [%]</i>	399
<i>Figura VI.4.26. Daylight Factor (DF), CP1.2 - [%]</i>	399
<i>Figura VI.4.27. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up), CP2.2 - [%]</i>	399
<i>Figura VI.4.28. Glare Autonomy (GA), CP2.2 - [%]</i>	399
<i>Figura VI.4.29. Daylight Autonomy (DA), CP1.3 - [%]</i>	400
<i>Figura VI.4.30. Spatial Daylight Autonomy (sDA), CP1.3 - [%]</i>	400
<i>Figura VI.4.31. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low), CP1.3 - [%]</i>	400
<i>Figura VI.4.32. Daylight Factor (DF), CP1.3 - [%]</i>	400
<i>Figura VI.4.33. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up), CP2.3 - [%]</i>	400
<i>Figura VI.4.34. Glare Autonomy (GA), CP2.3 - [%]</i>	400
<i>Figura VI.4.35. Daylight Autonomy (DA), CP1 - [%]</i>	401
<i>Figura VI.4.36. Spatial Daylight Autonomy (sDA), CP1 - [%]</i>	401
<i>Figura VI.4.37. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low), CP1 - [%]</i>	401
<i>Figura VI.4.38. Daylight Factor (DF), CP1 - [%]</i>	401
<i>Figura VI.4.39. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up), CP2 - [%]</i>	401
<i>Figura VI.4.40. Glare Autonomy (GA), CP2 - [%]</i>	401
<i>Figura VI.4.41. Pianta piano terra e individuazione uffici caso studio</i>	403
<i>Figura VI.4.42. Pianta piano primo e individuazione uffici caso studio</i>	403
<i>Figura VI.4.43. Pianta piano secondo e individuazione uffici caso studio</i>	403
<i>Figura VI.4.44. Assonometria del caso studio, modello Rhino</i>	403
<i>Figura VI.4.45. Identificazione griglie di sensori</i>	404
<i>Figura VI.4.46. Daylight Autonomy (DA) - [%]</i>	405
<i>Figura VI.4.47. Spatial Daylight Autonomy (sDA) - [%]</i>	405
<i>Figura VI.4.48. Glare Autonomy (GA) - [%]</i>	405
<i>Figura VI.4.49. Useful Daylight Illuminance (UDI) - [%]</i>	405

<i>Figura VI.4.50. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]</i>	405
<i>Figura VI.4.51. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]</i>	405
<i>Figura VI.4.52. Daylight Autonomy (DA) - [%]</i>	406
<i>Figura VI.4.53. Spatial Daylight Autonomy (sDA) - [%]</i>	406
<i>Figura VI.4.54. Glare Autonomy (GA) - [%]</i>	406
<i>Figura VI.4.55. Useful Daylight Illuminance (UDI) - [%]</i>	406
<i>Figura VI.4.56. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]</i>	406
<i>Figura VI.4.57. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]</i>	406
<i>Figura VI.4.58. Daylight Autonomy (DA) - [%]</i>	407
<i>Figura VI.4.59. Spatial Daylight Autonomy (sDA) - [%]</i>	407
<i>Figura VI.4.60. Glare Autonomy (GA) - [%]</i>	407
<i>Figura VI.4.61. Useful Daylight Illuminance (UDI) - [%]</i>	407
<i>Figura VI.4.62. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]</i>	407
<i>Figura VI.4.63. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]</i>	407
<i>Figura VI.4.64. Daylight Autonomy (DA) - [%]</i>	408
<i>Figura VI.4.65. Glare Autonomy (GA) - [%]</i>	408
<i>Figura VI.4.66. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]</i>	408
<i>Figura VI.4.67. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]</i>	408
<i>Figura VI.4.68. Daylight Autonomy (DA) - [%]</i>	409
<i>Figura VI.4.69. Daylight Autonomy (DA) - [%]</i>	409
<i>Figura VI.4.70. Glare Autonomy (GA) - [%]</i>	409
<i>Figura VI.4.71. Glare Autonomy (GA) - [%]</i>	409
<i>Figura VI.4.72. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]</i>	409
<i>Figura VI.4.73. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]</i>	409
<i>Figura VI.4.74. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]</i>	409
<i>Figura VI.4.75. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]</i>	409
<i>Figura VI.4.76. Daylight Autonomy (DA) - [%]</i>	410
<i>Figura VI.4.77. Glare Autonomy (GA) - [%]</i>	410
<i>Figura VI.4.78. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]</i>	410
<i>Figura VI.4.79. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]</i>	410
<i>Figura VI.4.80. Daylight Autonomy (DA) - [%]</i>	411
<i>Figura VI.4.81. Daylight Autonomy (DA) - [%]</i>	411
<i>Figura VI.4.82. Glare Autonomy (GA) - [%]</i>	411
<i>Figura VI.4.83. Glare Autonomy (GA) - [%]</i>	411
<i>Figura VI.4.84. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]</i>	411
<i>Figura VI.4.85. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]</i>	411
<i>Figura VI.4.86. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]</i>	411
<i>Figura VI.4.87. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]</i>	411
<i>Figura VI.4.88. Daylight Autonomy (DA) - [%]</i>	412
<i>Figura VI.4.89. Glare Autonomy (GA) - [%]</i>	412
<i>Figura VI.4.90. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]</i>	412
<i>Figura VI.4.91. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]</i>	412
<i>Figura VI.4.92. Daylight Autonomy (DA) - [%]</i>	413
<i>Figura VI.4.93. Daylight Autonomy (DA) - [%]</i>	413
<i>Figura VI.4.94. Glare Autonomy (GA) - [%]</i>	413
<i>Figura VI.4.95. Glare Autonomy (GA) - [%]</i>	413
<i>Figura VI.4.96. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]</i>	413
<i>Figura VI.4.97. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]</i>	413
<i>Figura VI.4.98. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]</i>	413
<i>Figura VI.4.99. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]</i>	413
<i>Figura VI.4.100. Daylight Autonomy (DA) - [%]</i>	414
<i>Figura VI.4.101. Glare Autonomy (GA) - [%]</i>	414
<i>Figura VI.4.102. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]</i>	414
<i>Figura VI.4.103. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]</i>	414
<i>Figura VI.4.104. Daylight Autonomy (DA) - [%]</i>	415
<i>Figura VI.4.105. Daylight Autonomy (DA) - [%]</i>	415

<i>Figura VI.4.106. Glare Autonomy (GA) - [%]</i>	415
<i>Figura VI.4.107. Glare Autonomy (GA) - [%]</i>	415
<i>Figura VI.4.108. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]</i>	415
<i>Figura VI.4.109. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]</i>	415
<i>Figura VI.4.110. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]</i>	415
<i>Figura VI.4.111. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]</i>	415
<i>Figura VI.4.112. Daylight Autonomy (DA) - [%]</i>	416
<i>Figura VI.4.113. Glare Autonomy (GA) - [%]</i>	416
<i>Figura VI.4.114. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]</i>	416
<i>Figura VI.4.115. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]</i>	416
<i>Figura VI.4.116. Daylight Autonomy (DA) - [%]</i>	417
<i>Figura VI.4.117. Daylight Autonomy (DA) - [%]</i>	417
<i>Figura VI.4.118. Glare Autonomy (GA) - [%]</i>	417
<i>Figura VI.4.119. Glare Autonomy (GA) - [%]</i>	417
<i>Figura VI.4.120. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]</i>	417
<i>Figura VI.4.121. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]</i>	417
<i>Figura VI.4.122. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]</i>	417
<i>Figura VI.4.123. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]</i>	417
<i>Figura VI.4.124. Daylight Autonomy (DA) - [%]</i>	418
<i>Figura VI.4.125. Glare Autonomy (GA) - [%]</i>	418
<i>Figura VI.4.126. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]</i>	418
<i>Figura VI.4.127. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]</i>	418
<i>Figura VI.4.128. Daylight Autonomy (DA) [%]</i>	419
<i>Figura VI.4.129. Daylight Autonomy (DA) - [%]</i>	419
<i>Figura VI.4.130. Glare Autonomy (GA) - [%]</i>	419
<i>Figura VI.4.131. Glare Autonomy (GA) - [%]</i>	419
<i>Figura VI.4.132. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]</i>	419
<i>Figura VI.4.133. Useful Daylight Illuminance, below 300 lux (UDI_low) - [%]</i>	419
<i>Figura VI.4.134. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]</i>	419
<i>Figura VI.4.135. Useful Daylight Illuminance, above 2000 lux (UDI_up) - [%]</i>	419
<i>Figura VI.4.136. Funzionamento configurazioni, 21 dicembre</i>	422
<i>Figura VI.4.137. Funzionamento configurazioni, 21 marzo</i>	422
<i>Figura VI.4.138. Funzionamento configurazioni, 21 giugno</i>	423
<i>Figura VI.4.139. Funzionamento configurazioni, 23 settembre</i>	423
<i>Figura VI.4.140. Funzionamento configurazioni</i>	423
<i>Figura VI.4.141. Realizzazione dello script tramite Python</i>	425
<i>Figura VI.4.142. Realizzazione dello script tramite Python</i>	426
<i>Figura VI.4.143. Vista d'insieme del sistema di facciata adattiva</i>	427
<i>Figura VI.5.1. Conversione di energia elettromagnetica in energia elettrica</i>	428
<i>Figura VI.5.2. Uffici lato Ovest</i>	428
<i>Figura VI.5.3. Dimensioni tipiche dello spazio di lavoro</i>	429
<i>Figura VI.5.4. Consumi energetici</i>	429
<i>Figura VI.5.5. Radiazione solare incidente nelle quattro configurazioni</i>	430
<i>Figura VI.5.6. Calcolo radiazione solare incidente totale tramite cronoprogramma</i>	431
<i>Figura VI.5.7. Calcolo area captante</i>	431
<i>Figura VI.5.8. Caratteristiche tecniche CIGS</i>	432
<i>Figura VI.5.9. Calcolo energia elettrica prodotta dal sistema fotovoltaico</i>	432
<i>Figura VI.5.10 Copertura del sistema fotovoltaico rispetto ai fabbisogni energetici</i>	433
<i>Figura VI.5.11. Energia elettrica prodotta e copertura del fabbisogno energetico</i>	433
<i>Figura VI.6.1. Prototipo realizzato</i>	434
<i>Figura VI.6.2. Elementi costitutivi del modello e corrispondenti deformazioni ammissibili</i>	435
<i>Figura VI.6.3. Prototipo e spot luminoso</i>	436
<i>Figura VI.6.4. Collegamenti e motore di alimentazione del prototipo</i>	436
<i>Figura VI.6.5. Posizione delle sonde captanti sul prototipo</i>	437
<i>Figura VI.6.6. Andamento delle temperature rilevate durante il test con luce artificiale</i>	440
<i>Figura VI.6.7. Andamento della radiazione rilevata durante il test con luce artificiale</i>	440

<i>Figura VI.6.8. Andamento delle temperature rilevate durante il test con luce solare</i>	440
<i>Figura VI.6.9. Andamento della radiazione rilevata durante il test con luce solare</i>	441
<i>Figura VI.6.10. Andamento delle temperature rilevate durante il test con luce solare e piastre</i>	441
<i>Figura VI.6.11. Andamento della radiazione rilevata durante il test con luce solare e piastre</i>	441
<i>Figura VI.7.1. Prestazioni dell'involucro oggetto di manutenzione</i>	442
<i>Figura VI.7.2. Manutenzione di schermature in ptfе</i>	447



HEXALOO