

POLITECNICO DI TORINO

II Facoltà di Architettura

Corso di Laurea in Architettura



TESI DI LAUREA

Progettare nel deserto.
Un modello bioclimatico a scala urbana

Relatore

Prof. Riccardo Bedrone

Candidata

Silvia Coccolo



POLITECNICO DI TORINO

Il Facoltà di Architettura

Corso di Laurea in Architettura



TESI DI LAUREA

Progettare nel deserto.
Un modello bioclimatico a scala urbana

Relatore
Prof. Riccardo Bedrone

Candidata
Silvia Cocco

Settembre 2012

Ringraziamenti

La tesi è stata svolta grazie ad uno scambio di sei mesi con il Laboratorio LESO (Laboratoire d'énergie solaire et physique du bâtiment LESO-PB) presso l'università politecnica EPFL di Losanna (Svizzera).

Ringrazio il Prof. Jean- Luis Scartezzini ed il Dr Jérôme Henri Kämpf per avermi seguito in questi mesi di scambio.

Ringrazio la mia famiglia, per avermi supportato in questi anni.

Sommario

1.0	Introduzione.....	9
1.1	Emirati arabi uniti.....	11
1.1.1	Clima	14
1.1.2	Flora e Fauna.....	16
1.1.3	Le dune e le tempeste di sabbia.....	17
1.1.4	Risorse idriche	22
1.1.5	Le Oasi.....	24
1.2	La città araba.....	26
1.2.1	Aspetti bioclimatici	26
1.2.2	Aspetti sociali	26
1.2.3	L'architettura	27
1.3	L' Urbanistica	29
1.3.1	Il flusso dinamico delle persone nella città.....	29
1.3.2	Linee guida per la progettazione urbana.....	32
1.3.3	Le Aree verdi	33
1.3.4	Urbanistica araba, due casi studio.....	34
1.4	L'architettura	36
1.4.1	I materiali.....	36
1.4.2	Il progetto dell'edificio	37
1.4.3	Confort e risparmio energetico.....	38
1.4.4	Ottimizzazione della ventilazione.....	39
1.4.5	L'archetipo della forma architettonica	39
1.5	Masdar e Kaust_ due progetti ecosostenibili nella penisola Araba	40
1.6	Ras Al Khaimah	44
1.6.1	Il clima.....	46
1.6.2	Analisi del vento.....	50
1.7	Conclusioni	53
2.0	CitySim.....	55
2.01	Standard Minergie in Svizzera	55
2.02	Standard Minergie negli Emirati Arabi Uniti	58
2.1	Analisi di un edificio per uffici a Ras Al Khaimah	59
2.1.1	Dati meteo	60
2.1.2	Parametri di progetto	62
2.1.3	Caso studio A: edificio esistente	62
2.1.4	Sensibilità dei parametri	69

2.1.5	Caso studio B: edificio Minergie	70
2.1.6	Sensibilità dei parametri	73
2.1.7	Confronto tra i due casi.....	75
2.2	Analisi di una villa a Ras Al Khaimah	76
2.2.1	Dati meteo	76
2.2.2	Parametri di progetto	78
2.2.3	Caso studio C: edificio esistente	79
2.2.4	Sensibilità dei parametri	86
2.2.5	Caso studio D: edificio Minergie.....	88
2.2.6	Sensibilità dei parametri	91
2.2.7	Confronto tra i due casi.....	93
2.3	Conclusioni	94
3.0	I primi Masterplan per l'EPFL Middle Est.....	95
3.1	Il primo approccio bioclimatico	96
3.2	Masterplan A.....	99
3.2.1	Approccio Bioclimatico	99
3.2.2	Le funzioni.....	100
3.2.3	Viste.....	101
3.2.4	Immagini del progetto.....	102
3.3	Masterplan B.....	103
3.3.1	Approccio Bioclimatico	105
3.3.2	Le Funzioni.....	106
3.3.3	Viste.....	107
3.3.4	Immagini del progetto.....	108
4.0	CitySim e l'approccio bioclimatico del progetto.....	109
4.1	Studio morfologico_ studio del numero dei piani e delle aperture sul tetto	109
4.2	Studio morfologico. La pianta degli edifici	113
4.2.1	Risultati delle simulazioni_ edifici a due piani	116
4.2.2	Risultati delle simulazioni_ edifici a tre piani.....	116
4.3	Studio morfologico_ Studio della radiazione solare nei diversi piani di una casa a corte	122
4.4	confort termico per i pedoni	125
4.4.1	La forza del vento su di una persona.....	125
4.4.2	Lo scambio termico tra una persona e l'ambiente esterno.....	127
4.4.3	Scambio termico corporeo e condizioni di confort	129
4.4.4	Modellizzazione del confort delle persone in un canyon urbano.....	131

4.4.5	Analisi del confort delle persone tramite CitySim	134
5.0	Masterplan C	142
5.1	Approccio Bioclimatico.....	142
5.1.1	Le funzioni.....	143
5.1.2	Viste a progetto	148
5.1.3	Immagini del progetto.....	149
5.1.4	I percorsi pedonali_ ciclabili_ gli accessi carrai	151
5.1.5	Il flusso delle persone nel campus	152
5.1.6	La vegetazione	156
5.1.7	Il centro sportivo	162
5.2	Progettazione sostenibile	164
5.2.1	Il recupero dell'acqua piovana.....	164
5.2.2	Produzione di acqua potabile dall'umidità	166
5.2.3	L'energia eolica.....	171
5.2.4	L'energia solare.....	172
5.2.5	Le torri del vento	172
5.2.6	Le torri solari.....	173
5.2.7	Mattoni di sabbia	173
6.0	Simulazione del Masterplan con CitySim.....	176
6.1	Prima simulazione con CitySim. Masterplan senza atrium ed uscite di emergenza 176	
6.1.1	Seconda analisi_ Impatto delle uscite di emergenza.....	188
6.1.2	Terza analisi. L'impatto del contesto urbano sul singolo edificio	189
6.2	Simulazione con CitySim_ Masterplan senza gli occupanti.....	190
6.3	Simulazione con CitySim_ Masterplan con gli occupanti.....	195
6.3.1	ASHRAE_ numero di occupanti.....	195
6.3.2	SIA 2024_ profilo di occupazione.....	197
6.3.3	L'impatto della ventilazione naturale	215
7.0	Conclusioni	217
	Indice delle tabelle	220
	Indice delle figure	222
	Bibliografia e Sitografia.....	230

1.0 INTRODUZIONE

Il cambiamento climatico rappresenta una delle maggiori sfide che l'umanità dovrà affrontare nei prossimi anni. L'aumento delle temperature, lo scioglimento dei ghiacciai, la maggiore frequenza degli episodi di siccità e delle alluvioni sono tutti sintomi di un cambiamento climatico ormai in atto. I rischi per il pianeta e per le generazioni future sono enormi, e ci obbligano ad intervenire con urgenza.

Il cambiamento climatico_ Unione Europea

La politica europea è impegnata nella lotta contro il cambiamento climatico a livello internazionale ed interno agli stati membri, definendolo come uno degli obbiettivi primari da perseguire nei prossimi anni.

A partire dalla firma del protocollo di Kyoto il 29 aprile 1998, gli stati membri si sono impegnati a ridurre le emissioni di alcuni gas, responsabili del riscaldamento mondiale, del 5 % nel periodo 2008-2012, rispetto ai livelli del 1990.

Secondo gli studi svolti dal Gruppo intergovernativo delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici ed il centro ricerche IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change), le temperature mondiali dovrebbero aumentare di 1,4- 5,8° C entro il 2100, rispetto alle temperature del 1990. Come visibile dalla Figura 1, l'aumento interesserà l'intera pianeta, con un picco massimo di 7.5 [°C] nel periodo 2090- 2099 nel Polo Nord.

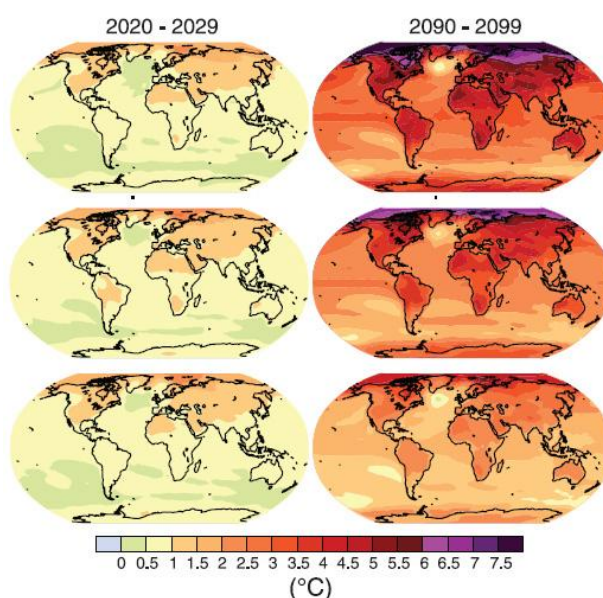


Figura 1 Aumento delle temperature previsto dal 2020 al 2099 [2]

L'aumento della temperatura contribuirà al fenomeno del disgelo, alla riduzione dei ghiacciai, delle superfici innevate e del ghiaccio marino.

Inoltre varierà la disponibilità di acqua, con un aumento delle precipitazioni nelle regioni e nei periodi ad elevata piovosità, ed una diminuzione nelle regioni e nei periodi già oggi secchi, come le regioni aride dei tropici, e l'area mediterranea. Conseguenza diretta della diminuzione delle precipitazioni è l'espansione territoriale delle zone aride, soprattutto nei paesi mediterranei. Il cambiamento ambientale legato alla variazione delle precipitazioni e delle temperature inciderà sulla flora e fauna locali, compromettendo la loro capacità di adattamento.

La strategia europea contro il cambiamento climatico è stata definita con una Comunicazione della Commissione, del 9 febbraio 2005, "Vincere la battaglia contro i cambiamenti climatici". Essa si sviluppa nei seguenti punti:

- l'estensione della lotta ai cambiamenti climatici a tutti i paesi inquinatori.
- Il rafforzamento dell'innovazione, che include l'attuazione e l'applicazione delle tecnologie esistenti e lo sviluppo di nuove tecnologie.
- L'utilizzazione e il rafforzamento degli strumenti basati sul mercato, come il sistema di scambio dei diritti di emissioni.
- La realizzazione di sforzi di adattamento ai cambiamenti climatici, a livello preventivo e correttivo, a seconda delle regioni e dei settori economici più direttamente interessati.

Nella Comunicazione della Commissione, del 10 gennaio 2007, dal titolo "Limitare il surriscaldamento dovuto ai cambiamenti climatici a +2 gradi Celsius - La via da percorrere fino al 2020 e oltre" vengono definiti ulteriori obiettivi riguardo la riduzione delle emissioni di gas. Le linee guida prevedono:

- Il miglioramento del 20 % dell'efficienza energetica dell'Unione Europea entro il 2020.
- L'incremento percentuale delle energie rinnovabili portandole al 20 % entro il 2020.
- Lo sviluppo di una politica di stoccaggio geologico del carbonio che sia compatibile con l'ambiente.

L'obiettivo del miglioramento dell'efficienza energetica riguarda in primo luogo i trasporti, seguito dal miglioramento della produzione energetica, poiché il 40- 60 [%] dell'energia necessaria per la produzione di elettricità viene persa durante la produzione. Infine il terzo punto è l'edilizia: il 40 [%] del consumo elettrico europeo è utilizzato per il riscaldamento e l'illuminazione degli edifici.

Poiché il miglioramento del consumo energetico degli edifici è un obiettivo chiave della politica climatica europea, risulta importante definire un nuovo approccio alla progettazione urbanistica.

Lo studio affrontato in questa tesi evidenzia come sia possibile un approccio sostenibile a livello urbano, grazie all'utilizzo di un software, CitySim. Questo software è in grado di definire come la forma urbana, il rapporto tra gli edifici, possa influenzare notevolmente il consumo energetico globale. Grazie a CitySim è stato possibile definire una forma urbana bioclimaticamente efficace, affrontando lo studio dei singoli edifici, valutando il rapporto di forma e volume, vuoti e pieni urbani.

Il tema di progettare nel deserto è stato scelto a partire dalla coscienza del cambiamento climatico in corso, e dalla necessità di intervenire in ambito architettonico, rispondendo all'evoluzione in atto. La complessità del progetto risiede nelle difficili condizioni climatiche in cui si trova l'area, ovvero nel deserto sabbioso di Ras al Khaimah, caratterizzato da precipitazioni ridotte, assenti nel periodo estivo, ed alte temperature, che nel mese di luglio superano i 45 [°C]. L'assenza di riferimenti urbani nell'area ha permesso di rivolgere la ricerca verso l'architettura tradizionale, per interpretare i metodi costruttivi antichi, adattandoli alle complesse esigenze moderne.

1.1 EMIRATI ARABI UNITI

Gli Emirati Arabi Uniti (UAE) sono una confederazione di sette emirati: Abu Dhabi, Ajman, Dubai, Fujaira, Ras al-Khaima, Sharja e Umm al-Qaywayn. Il 2 dicembre 1971 sei emirati si unirono in una alleanza politica, fondando gli Emirati Arabi Uniti; l'emirato di Ras Al Khaimah venne annesso nel 1972.

La capitale dello stato è Abu Dhabi, e svolge il ruolo di centro politico, industriale e culturale. Ogni stato dell'aggregazione è governato da uno sceicco, la cui carica viene trasmessa da padre in figlio.

Gli Emirati Arabi Uniti sono situati tra 22°30' e 26°10' di Latitudine Nord, e tra 51° e 56°25' di Longitudine Est, nell'area Sud- Est della Penisola Araba. Lo stato confina a Est con l'Oman, ed a Sud con l'Arabia Saudita. La maggior parte dello stato, però, confina con il Golfo Persico ed il Golfo di Oman, su cui si affacciano Iran, Iraq, Qatar, Kuwait e Bahrein.

La costa degli Emirati arabi si sviluppa per più di 650 [km] lungo il Golfo Persico ed il Golfo di Oman; l'area totale della confederazione è pari a circa 83,600 [km²]. Secondo un'analisi svolta dal National Bureau of Statistics, nel 2010, la popolazione era pari a 8,264,070 persone, di cui 89[%] del totale immigrati; il 60 [%] dei quali arriva dall' India, Pakistan, Bangladesh, Cina, Filippine e Tailandia. La maggior parte della popolazione è concentrata dell'emirato di Abu Dhabi, con una popolazione pari a 404,546 persone. L'emirato di Ras Al Khaimah ha invece una popolazione tra le più basse, con solo 97,529 abitanti.

Tabella 1 Popolazione araba per emirato e sesso. Fonte National Bureau of Statistic, 2010

Popolazione araba per emirato e sesso (2010)				
Emirato	Uomini	Donne	Totale	Percentuale
Abu Dhabi	204,108	200,438	404,546	43
Dubai	84,245	83,784	168,029	18
Sharjah	78,818	74,547	153,365	16
Ajman	21,600	20,586	42,186	4
Umm Al-Quwain	8,671	8,811	17,482	2
Ras Al Khaimah	49,181	48,348	97,529	10
Fujairah	32,486	32,374	64,860	7
Totale	479,109	468,888	947,997	100

Tabella 2 Popolazione totale per nazionalità e sesso. Fonte National Bureau of Statistic, 2010

Popolazione per nazionalità e sesso (2010)

Nazionalità	Uomini	Donne	Totale	Percentuale
Arabi	479,109	468,888	947,997	11
Immigrati	5,682,711	1,633,362	7,316,073	89
Totale	6,161,820	2,102,250	8,264,070	100

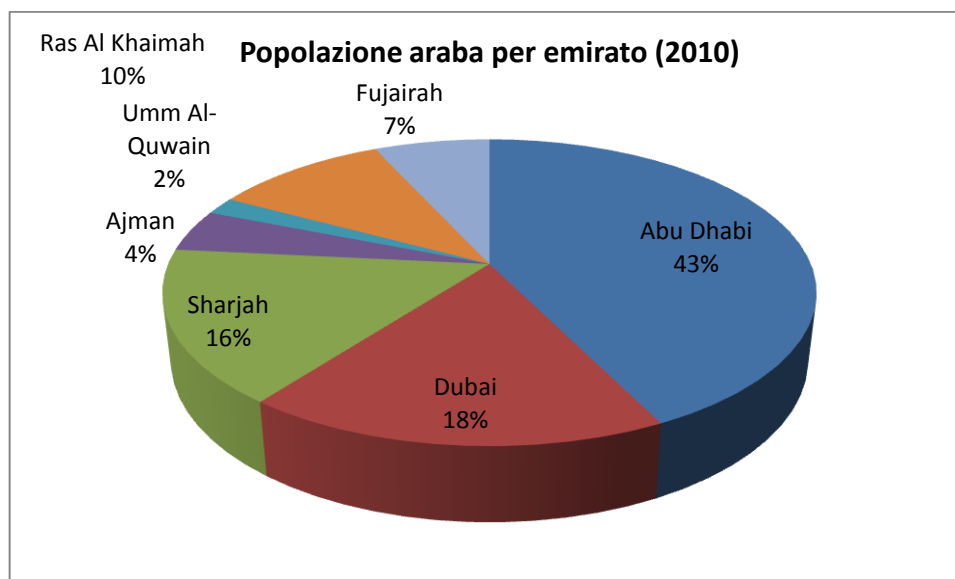


Figura 2 Popolazione araba per emirato. Fonte National Bureau of Statistic, 2010. Rielaborazione personale

La religione ufficiale negli Emirati è l'Islam, ma tutte le fedi sono tollerate. La lingua ufficiale è l'arabo, ma grazie alla presenza di numerosi stranieri l'inglese ha assunto un ruolo rilevante nella comunicazione.

Riguardo alla geografia dello stato, la maggior parte del territorio è pianeggiante, ma nella zona Est è presente un rilievo montuoso, che separa gli UAE dall'Oman, ed è denominato Oman Mountains. Questa catena arriva ad un'altezza massima di 2000 [m], mentre ha una larghezza pari a 8 [km] da Est a Ovest, ed una lunghezza pari a 18 [km]. La maggior parte del territorio restante è composto dal deserto sabbioso di Rub Al Khali.



Figura 3 Mappa degli Emirati Arabi Uniti

Il prodotto interno lordo degli Emirati Arabi, secondo le analisi effettuate dalla CIA americana nel progetto "The world factbook", è pari a 260.8 miliardi di dollari (2011), ed ha subito una continua crescita negli ultimi anni: 252.5 milioni di dollari nel 2010, e 244.6 milioni di dollari nel 2009. Il PIL statale è cinquantesimo nella classifica mondiale, l'Italia è undicesima. Ma il dato più interessante è il reddito medio pro capite, pari a 48,500 \$ nel 2011, 48,400 \$ (2010) e 48,300 \$ (2009). Il reddito pro capite è molto alto, basti pensare che è l'undicesimo mondiale, seguito dagli Stati Uniti. L'Italia è quarantacinquesima con 30,100 \$.

United Arab Emirates :: 11

RANK	COUNTRY	GDP - PER CAPITA (PPP)	DATE OF INFORMATION
1	<u>Liechtenstein</u>	\$ 141,100	2008 est.
2	<u>Qatar</u>	\$ 102,700	2011 est.
3	<u>Luxembourg</u>	\$ 84,700	2011 est.
4	<u>Bermuda</u>	\$ 69,900	2004 est.
5	<u>Singapore</u>	\$ 59,900	2011 est.
6	<u>Jersey</u>	\$ 57,000	2005 est.
7	<u>Falkland Islands (Islas Malvinas)</u>	\$ 55,400	2002 est.
8	<u>Norway</u>	\$ 53,300	2011 est.
9	<u>Brunei</u>	\$ 49,400	2011 est.
10	<u>Hong Kong</u>	\$ 49,300	2011 est.
11	<u>United Arab Emirates</u>	\$ 48,500	2011 est.
12	<u>United States</u>	\$ 48,100	2011 est.
13	<u>Guernsey</u>	\$ 44,600	2005
14	<u>Cayman Islands</u>	\$ 43,800	2004 est.
15	<u>Switzerland</u>	\$ 43,400	2011 est.

Figura 4 Reddito pro capite Emirati Arabi Uniti, classifica mondiale. Fonte CIA (USA)

1.1.1 CLIMA

Gli Emirati Arabi Uniti hanno un clima prettamente desertico, caratterizzato da alte temperature durante il periodo estivo, ed una forte escursione termica tra il giorno e la notte. In estate, durante il giorno, le temperature possono raggiungere i 49 [°C], e durante la notte scendono fino a 24 [°C], con un'escursione pari a 25 [°C]. L'escursione termica tra il giorno e la notte, durante l'anno, ha un valore medio compreso tra 11 e 17 [°C]. Le precipitazioni sono irregolari, e comprese tra 50 e 250 [mm/anno]. La regione è caratterizzata da forti venti, con una direzione prevalente da Ovest e Nord- Ovest, nel 52 [%] dei casi, e Sud- Est nel 28 [%].

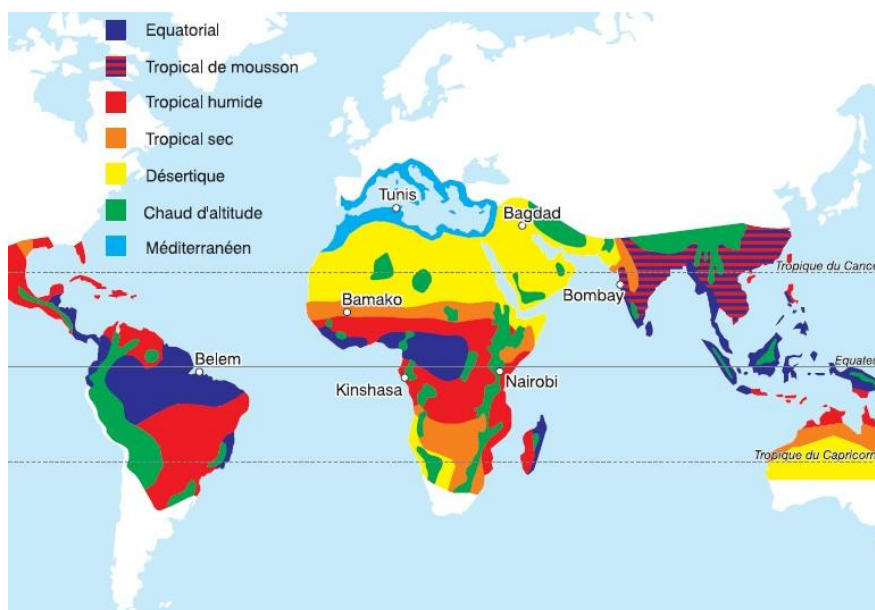


Figura 5 Zone climatiche. Gli Emirati Arabi rientrano nella zona desertica[3]

La radiazione solare annua negli Emirati Arabi è superiore a 2,150 [kWh/m²], come visibile dall'immagine sottostante, ricavata dal programma Meteonorm¹. Per comprendere il valore di questa irradiazione basta pensare che la radiazione solare annua in Sicilia arriva a 1861- 1990 [kWh/m²].

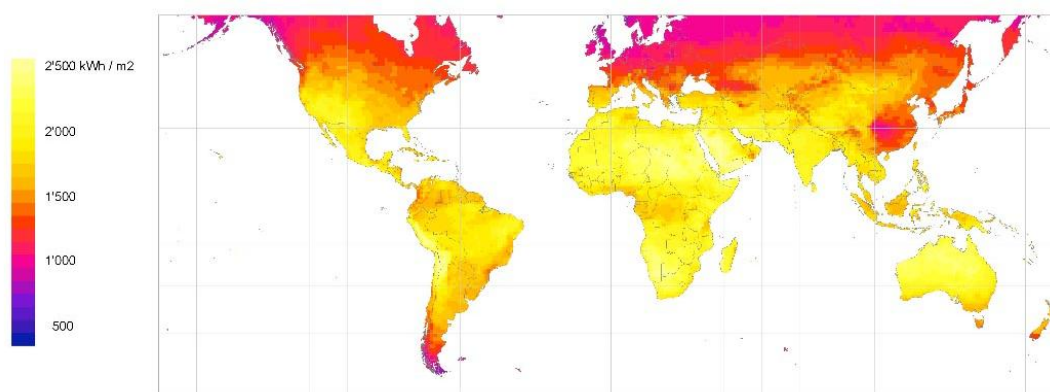


Figura 6 Irradiazione solare annuale . Fonte: Meteonorm

¹ Meteonorm è un software utilizzato per l'analisi climatica. Il programma è dotato di un database, che raccoglie i dati climatici di tutte le stazioni meteorologiche mondiali, e grazie all'interpolazione delle stesse permette una precisa definizione di ogni sito terrestre.

Per quanto concerne le precipitazioni, si può notare una differenza tra la zona montuosa ed il resto dello stato; le precipitazioni sono massime durante il periodo invernale, e come si può notare dall'immagine sottostante, la media delle piogge è di 110 [mm/anno], con un minimo di 7.00 [mm] nel 1999/2000, ed un massimo di 382.80 [mm] nel 1995- 1996.

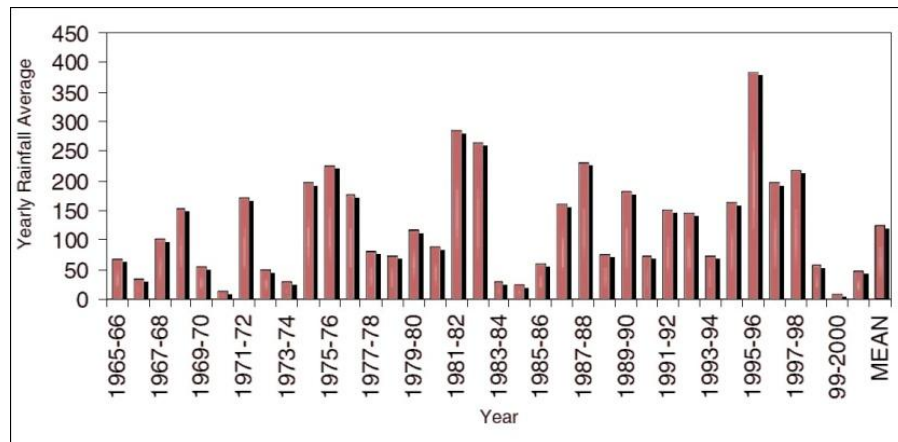


Figura 7 Precipitazioni: media annuale negli Emirati Arabi[4]

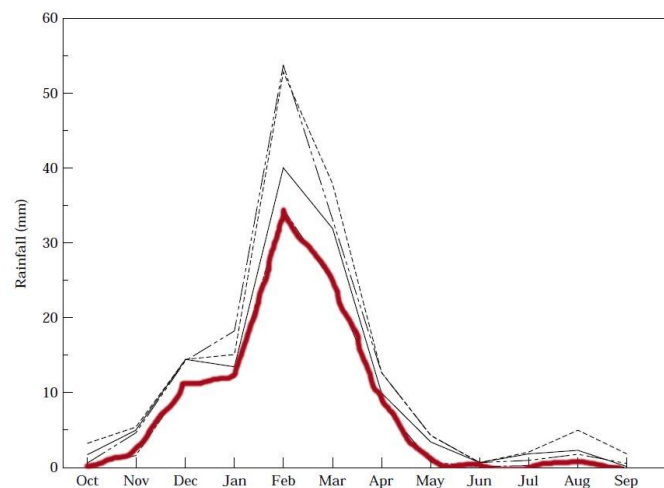


Figura 8 Precipitazioni: media mensile nelle diverse aree degli Emirati Arabi [1967/68- 1991/92]. In rosso la costa Ovest. [5]

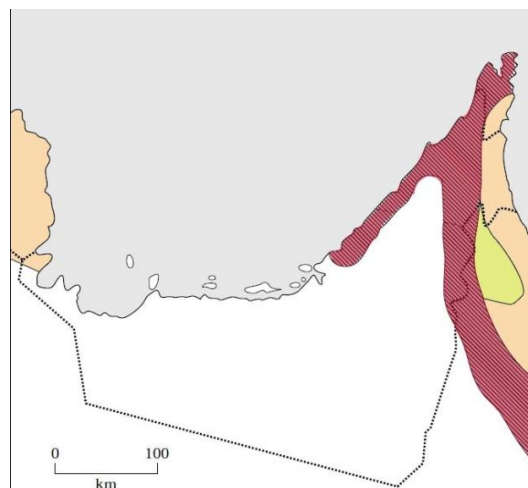


Figura 9 Zone bioclimatiche negli Emirati Arabi Uniti. In arancione: semi-umido, giallo: semi arido, rosso: arido.

1.1.2 FLORA E FAUNA

Gli Emirati Arabi Uniti sono parte dell'eco regione "Gulf of Oman desert and semi- desert area", come si evince dalla classificazione del WWF, sintetizzata nell'immagine sottostante.

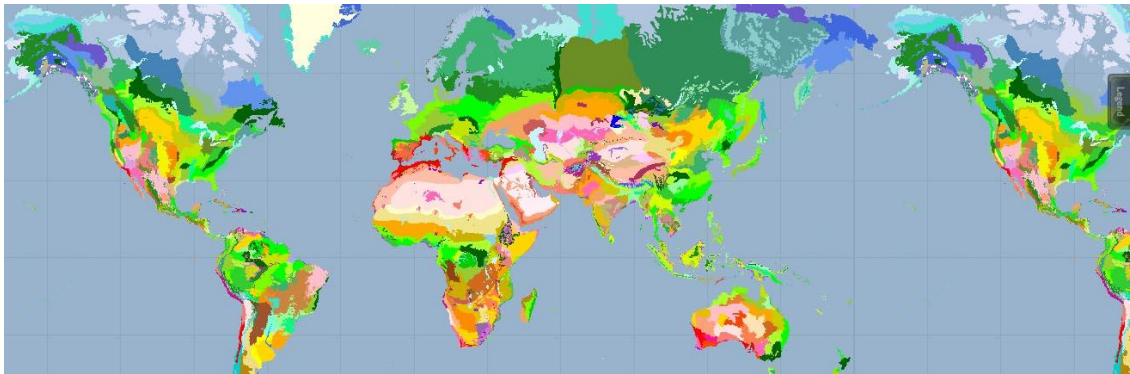


Figura 10 Eco- regioni secondo la classificazione del WWF [6]

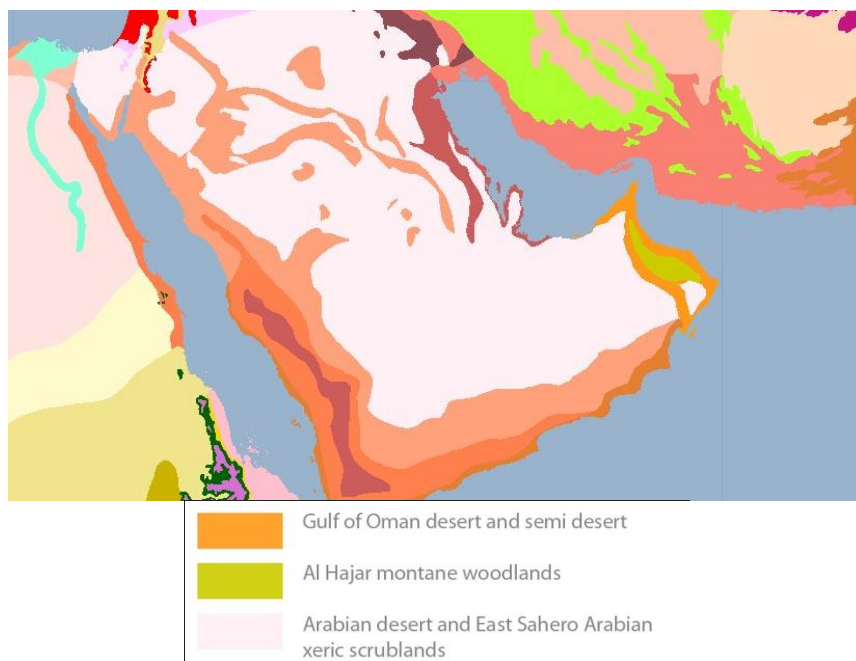


Figura 11 Eco- regioni secondo la classificazione del WWF. Penisola Araba[6]

La maggior parte del territorio è caratterizzato dalla presenza del deserto sabbioso di Rub Al Khali, all'interno del quale sono situate alcune oasi, con una vegetazione composta da palme da dattero, acacia ed eucalipto. Nel deserto vi sono, invece, principalmente da piccoli arbusti, cespugli ed alcune specie di alberi, come i Ghaf Trees (*Prosopis cineraria*), acacie (*Acacia albida*) ed i Desert thorns (*Lycium L.*). Vi sono inoltre alcune specie di fiori, come i Desert ephemerals, giacinti ed i Thumbs, i quali fioriscono durante la primavera, colorando il deserto in tinte giallo violetto. Durante l'inverno, dopo le piogge, dalla sabbia del deserto emergono numerose piante, come le Senna Plants, Desert Sqashes, Eyelash plants e Blepharis. Queste piante hanno sviluppato la capacità di vivere nel clima desertico, grazie a riserve d'acqua nelle foglie, o la capacità di assorbire l'acqua dall'aria umida. Inoltre i loro semi possono sopravvivere a lunghi periodi di siccità.

La maggior parte della fauna autoctona è stata distrutta dalla caccia, ma dal 1970, grazie ad un programma di tutela e conservazione delle specie animali, alcuni animali sono divenuti specie protetta, come l'orice araba ed il leopardo. La fauna ittica consiste invece di tonni, balene, squali ed il pesce persico.

1.1.3 LE DUNE E LE TEMPESTE DI SABBIA



Figura 12 Il deserto di Ras Al Khaimah. Fonte: Flickr.com

Nelle aree desertiche le tempeste di sabbia sono un elemento naturale che incide in maniera molto importante sul clima del luogo. Ogni anno le tempeste di sabbia spostano milioni di tonnellate di sabbia, rendendo il deserto un luogo in continua trasformazione ed evoluzione. Le dune compongono il deserto, e si muovono con lui. Esse vengono definite come “montagne di sabbia, che svettano verso un’unica cima. Le dune possono essere singole, o unite le une con le altre, formando colonie o catene di dune”². Alcune dune possono raggiungere un’altezza pari a 300 [m] ed una lunghezza di 16- 24 [km]. Risulta interessante definire la differenza tra le tempeste di polvere e di sabbia. Le prime nascono per l’arrivo di un forte vento: l’aria diventa piena di polvere, ma non vi è sabbia. Nelle tempeste di sabbia, invece, l’aria è caratterizzata, per la prima ora, da sabbia e polvere, e successivamente solo da sabbia, la quale crea una nuvola sopra il terreno, per un’altezza di circa due metri. L’erosione del suolo, a causa delle tempeste, è massima al livello del terreno, fino ad un’altezza di circa 50 [cm]. Analizzando le tempeste di sabbia è importante sottolineare il diverso movimento dell’aria e della sabbia: la prima infatti, quando incontra un ostacolo, cambia repentinamente di direzione, mentre la sabbia tende a muoversi nella

² Definizione tratta e tradotta dall’articolo di Alghamdi, A. A. A. and M. Akyurt (2001), *On sandstorms and energy recovery from sandstorms*. Energy Conversion & Management **42**, pp. 1143-1156

stessa direzione. Come visibile nella figura 13, la sabbia in presenza di un ostacolo crea delle “ombre di sabbia” ellittiche dietro gli ostacoli, e dei mucchi di sabbia tra due ostacoli.

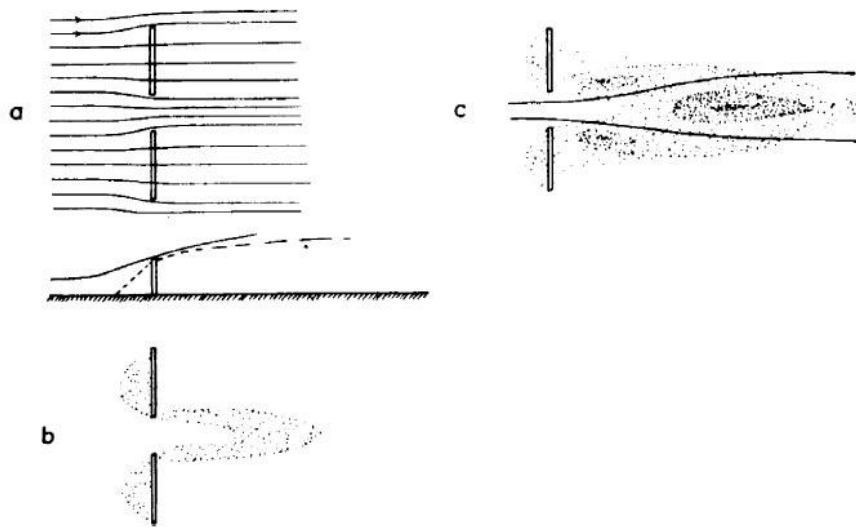


Figura 13 Tempeste di sabbia, la direzione della sabbia nei confronti di un ostacolo[7]

Per quanto concerne le dune, si possono individuare quattro tipologie delle stesse, in base alla loro direzione rispetto al vento prevalente. Le dune balcane presentano un lato concavo sottovento, esse si formano nelle aree in cui vi è una ridotta presenza di sabbia, ed il vento spira da una direzione costante. Le dune paraboliche, al contrario, presentano una forma concava sopravvento; esse si formano prevalentemente nelle zone costiere, in presenza di vegetazione. Le dune longitudinali si sviluppano in lunghezza longitudinalmente al vento prevalente, esse si possono trovare in aree con una moderata presenza di sabbia, ed in cui il vento non soffia secondo una direzione costante. Infine vi sono le dune trasversali, che si sviluppano perpendicolarmente rispetto al vento prevalente, in zone interessate da una gran quantità di sabbia, ed una ridotta vegetazione.

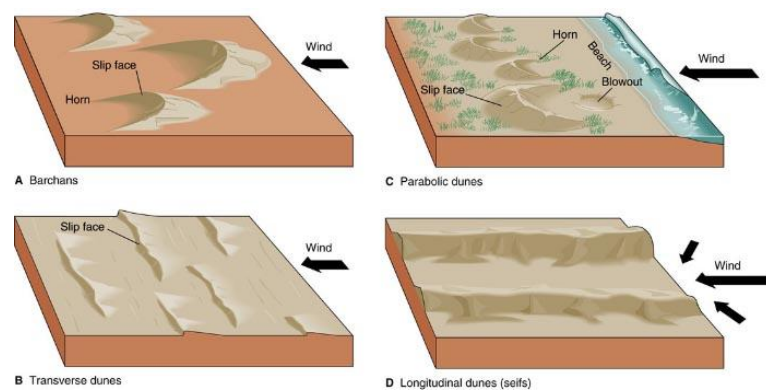


Figura 14 Diverse tipologie di dune[8]

Un altro modo per classificare le dune riguarda il loro movimento; vi sono tre tipologie di dune: le dune immobili, stabilizzate dalla vegetazione, le dune parzialmente attive, e le dune attive, le quali vengono spostate per numerosi chilometri dalla forza del vento.

Per terminare la descrizione delle dune, risulta interessante capire come vengono spostate dal vento. Si può riassumere il movimento nelle seguenti fasi:

- Creep o scivolamento: interessa le particelle di sabbia più grandi, le quali erodono il suolo grazie allo scivolamento.
- Saltazione: è la modalità di trasporto più importante, e coinvolge circa l'80 [%] dei granuli sabbiosi, di dimensioni comprese tra $0.08 < D < 1$ mm. Questo meccanismo avviene attraverso salti di traiettoria approssimativamente parabolica, con direzione iniziale in media di $34-50^\circ$ (ma talora quasi verticale) e terminale sub-orizzontale ($9-15^\circ$). L'altezza e larghezza della traiettoria sono proporzionali alla forza ed intensità del vento.
- La sospensione interessa le particelle più piccole, con $D < 0.08 - 0.10$ [mm], le quali volano nel vento, creando una nube.

Dall'immagine sottostante è possibile vedere la pianta dell'area oggetto del Masterplan, con l'indicazione delle curve topografiche del sito. Osservando l'immagine si può notare che le dune sono trasversali, rispetto alle due direzioni prevalenti del vento, ovvero il vento da Nord- Ovest ed il vento da Sud. L'ipotesi appena definita viene convalidata dall'articolo "*Desert loess in Ras Al Khaimah, United Arab Emirates*" [9], nel quale si afferma che il regime del vento nell'area è complesso, poiché il 52 [%] della sabbia migra grazie al vento da Nord- Ovest, ed il 28 [%] per il vento da Sud.



Figura 15 Le dune nell'area di progetto del Masterplan, con indicazione delle direzioni principali del vento

La migrazione delle dune è strettamente correlata con la velocità del vento: come visibile dall'immagine sottostante, a partire da una velocità del vento pari a 6 [m/s], il movimento della sabbia aumenta in maniera esponenziale. Nel caso dell'area oggetto d'intervento si

può rilevare l'influenza del vento dal Nord Ovest e di quello da Sud, che come visibile dai digrammi sottostanti, il primo è una brezza proveniente dal mare, ed è presente in maniera costante durante l'anno, mentre il vento da Sud sferza le dune durante il mese di agosto.

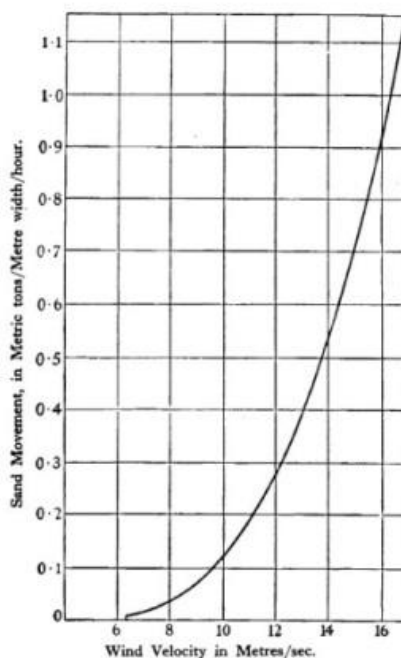


Figura 16 Movimento delle dune rispetto alla velocità del vento [m/s][7]

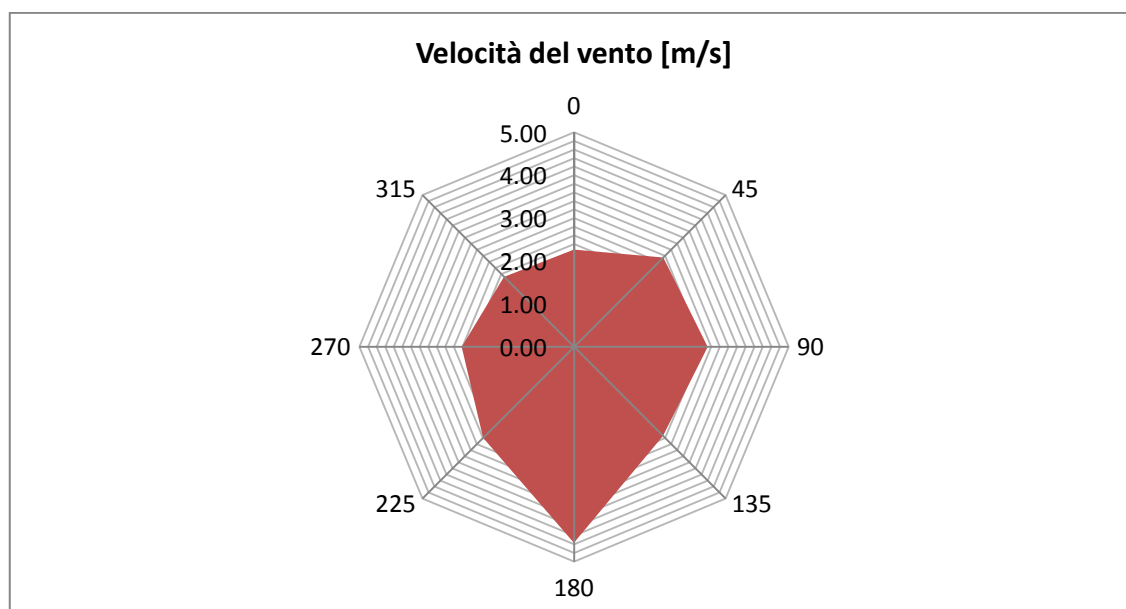


Figura 17 Mese di Agosto. Velocità massima del vento [m/s]

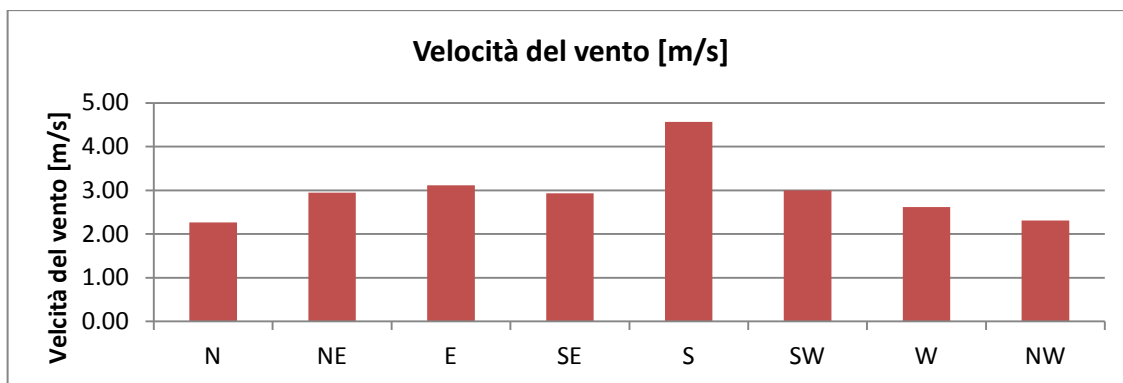


Figura 18 Mese di Agosto. Velocità massima del vento [m/s]

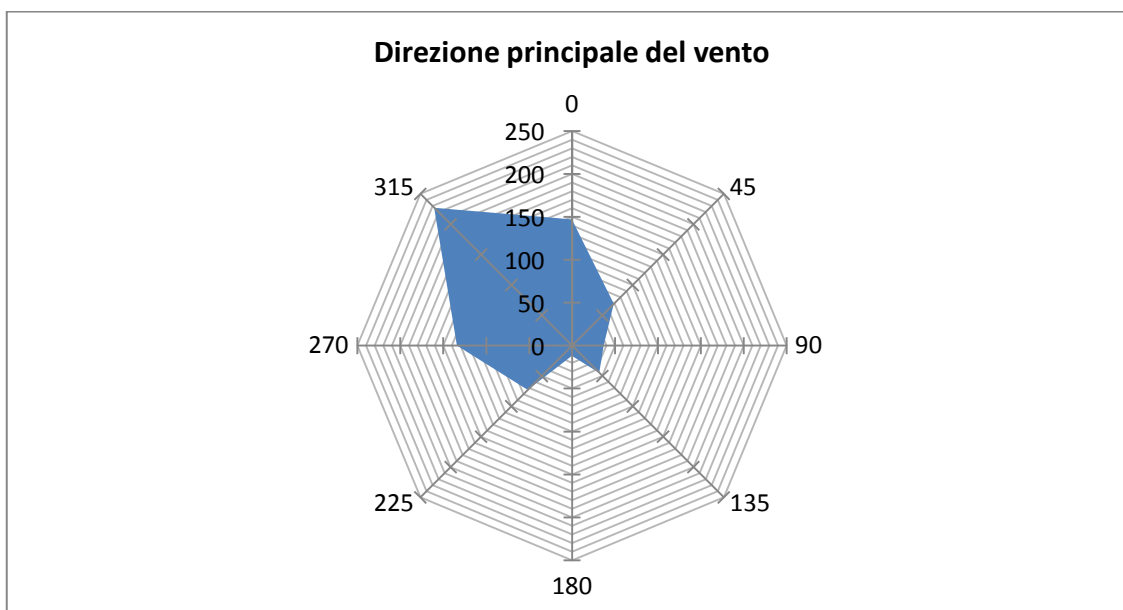


Figura 19 Mese di Agosto. Direzione prevalente del vento

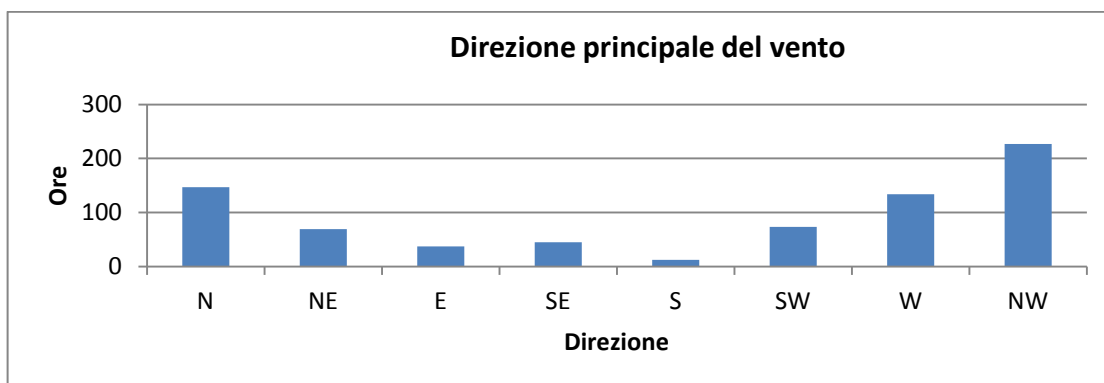


Figura 20 Mese di Agosto. Direzione prevalente del vento

1.1.4 RISORSE IDRICHE

Il principale problema negli Emirati Arabi è la scarsità d'acqua, infatti la penisola è caratterizzata da un clima arido, con precipitazioni limitate durante l'anno. Ma il problema fondamentale è il grande sviluppo economico dell'area, che negli ultimi anni, grazie all'aumento della popolazione, ha creato un grande sfruttamento delle risorse idriche, con una domanda superiore all'offerta disponibile. Nel passato la principale risorsa idrica era costituita dalle falde acquifere presenti nel sottosuolo, ma con l'aumento della domanda, per uso domestico ed agricolo, sta riducendo drasticamente le falde. Nel grafico sottostante sono stati riassunti i dati tratti dall'articolo *"Comprehensive Assessment of Water Resources in the United Arab Emirates (UAE)"*[4], si può notare come la maggior parte dell'acqua venga utilizzata per uso agricolo.

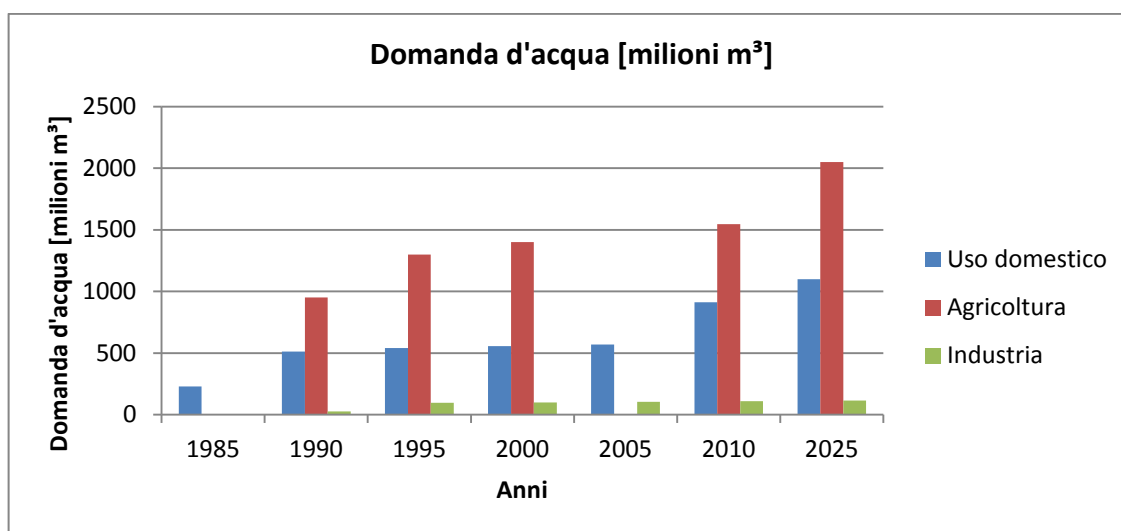


Figura 21 Domanda d'acqua negli Emirati Arabi. Rielaborazione personale. Dati tratti da *"Comprehensive Assessment of Water Resources in the United Arab Emirates (UAE)"*[4]

Le risorse idriche esistenti possono essere suddivise in due macrocategorie: le fonti convenzionali e non convenzionali.

Le fonti idriche convenzionali

In primis vengono individuate come fonti convenzionali le sorgenti stagionali, che nascono dalle Oman Mountains. Nell'area di Ras Al Khaimah vi sono inoltre alcune sorgenti termali, come la Khatt Spring.

Un altro metodo è l'utilizzo dell'acqua delle falde tramite le falaja, dei canali sotterranei, antropici, che permettono di trasportare l'acqua proveniente dalle falde lungo un determinato percorso, fino a giungere in superficie grazie al pompaggio attraverso dei pozzi. Vi sono 150 falaja negli Emirati Arabi, ma solo 50 sono ancora attive. Entrando nel dettaglio delle falde acquifere sotterranee possiamo affermare che siano delle fonti non rinnovabili, presenti in profondità nel sottosuolo. Come visibile dalla Figura 22 vi sono cinque tipologie di falde: limestone aquifer, Ophiolite aquifer, Eastern and Western gravel aquifer, le falde sottostanti le dune, e le sabkhas costiere. La maggior parte del territorio è costituito dalle falde sottostanti le dune, ed anche l'area oggetto d'intervento presenta falde ad una profondità di 10 [m] sotto il livello del mare.

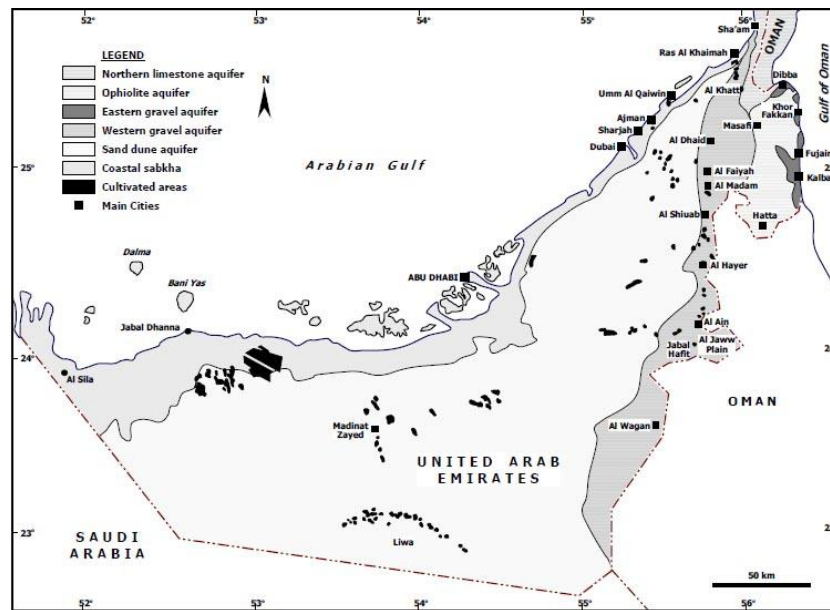


Figura 22 Le principali falde acquifere negli Emirati Arabi [10]

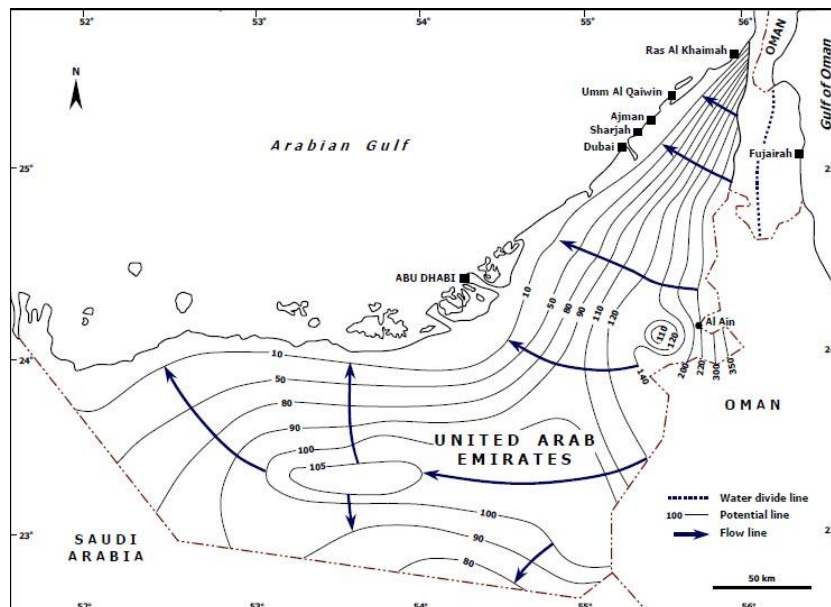


Figura 23 Mappa idrica degli Emirati Arabi, con indicazione della quota sotto il livello del mare in cui sono presenti delle falde sotto le dune[10]

Le fonti idriche non convenzionali

La principale fonte idrica non convenzionale è la desalinizzazione dell'acqua proveniente dal Golfo Persico. L'utilizzo di quest'acqua è pari a 694 [Mm³/anno]. L'acqua viene depurata dal sale, e utilizzata per uso domestico ed agricolo. Purtroppo questa pratica sta creando svariati problemi alla flora e fauna del mare, come si legge nell'articolo *"The Gulf, a young sea in decline"*[11]: l'acqua scartata e rigettata in mare ha una temperature maggiore di quella marina, e contiene dei biocidi.

L'ultima fonte idrica è il recupero dell' acqua, con un utilizzo pari a 150 [Mm³/anno]; grazie a degli impianti di depurazione l'acqua viene trattata e riutilizzata per l'irrigazione. In totale vi sono quattro centrali di depurazione, ad Abu Dhabi Dubai, Al Ain e Al Sharjah.

Tabella 3 Rassunto delle fonti idriche convenzionali e non convenzionali negli Emirati Arabi. [10]

Resource	Existing	Potential	In use	Source
<u>ConventionalResources</u> [Mm ³ /y]				
Seasonalfloods	125	125	125	Al Asam, 1996
Perennialsprings	3	6	3	Rizk and El-Etr, 1997
Seasonalsprings	22	40	---	Ministry of Agriculture and Fisheries, 1993
Falajes	20	40	20	Rizk, 1998
Aquifer recharge	120	120	120	Khalifa, 1995
Groundwater	---	---	880	Ministry of Agriculture and Fisheries, 1993
<u>Non-ConventionalResources</u> [Mm ³ /y],				
Desalinated water	----	----	694	Ministry of Electricity and Water, 1998
Reclaimed water	150	----	150	Hamouda, 1995

L'alto consumo di acqua negli Emirati ha causato numerosi problemi, come lo sfruttamento delle falde acquifere: gli autori Z. S. Rizk and A. S. Alsharhan stimano che l'approvvigionamento annuale delle falde è compreso tra 21.8 e 32.70 [Mm³/anno], mentre il consumo dell'acqua è pari a 880 [Mm³/anno].

Concludendo possiamo affermare che il problema idrico è di grande rilevanza negli Emirati arabi, poiché le fonti esistenti non sono in grado di rispondere alla crescente domanda.

1.1.5 LE OASI

Le oasi sono delle aree verdi nel deserto, caratterizzate da una fonte d'acqua che permette la vita. Le fonti possono essere o delle sorgenti sotterranee, o legate ad uno strato sabbioso nel sottosuolo, che permette di trattenere l'acqua delle piogge. La principale oasi nel Rub Al Khali desert è la Liwa Oasis, la quale insiste su una superficie di circa 100 [km]. Questa oasi ha una forma circolare, ed in essa si sono sviluppate numerose cittadine.

Un'altra oasi è Al Ain oasis, a circa sessanta chilometri a Est di Abu Dhabi; il suo nome significa "fonte" in arabo. Infine a circa 25 [km] da Ras Al Khaimah vi è la Khatt Spring, un'oasi nata dalla presenza di tre fonti termali di acqua sulfurea, che nascono dalle Oman Mountains, ad una profondità di circa 28 [m], e con una temperatura dell'acqua pari a 40 [°C].



Figura 24 Liwa oasis, immagine tratta da Google Earth



Figura 25 Al Ain Oasis. Immagine tratta da Wikipedia

1.2 LA CITTÀ ARABA

“Urban research on pre-modern towns depicted the socio- spatial and material fragmentation of urban patterns in small and distinct quarters as one of the most typical characteristics of Arab cities.”[12]

La città araba antica, denominata anche Medina, è caratterizzata dalla frammentazione: i quartieri nascono dall'auto pianificazione, come simbolo del legame tra i membri delle famiglie, e tra le famiglie stesse, diventando l'estensione dello spazio privato. In passato i quartieri erano autonomi, intesi come entità autorganizzate secondo i diversi legami di parentela.

1.2.1 ASPETTI BIOCLIMATICI

La città araba, intesa come archetipo, rappresenta un ottimo punto di approccio per lo studio bioclimatico. Il primo aspetto riguarda la ricerca delle risorse idriche: la città araba era infatti caratterizzata per la presenza di numerose foggaras nel sottosuolo, che permettevano il trasporto dell'acqua per lunghe distanze, garantendo l'irrigazione e l'uso domestico. Naturalmente vi erano altri modi per ricavare l'acqua, come l'utilizzo di pompe idrauliche. L'acqua nella cultura araba è una necessità, ma anche un simbolo di ricchezza, come testimoniano i numerosi giardini pensili delle medine.

Un altro tema della città araba è l'utilizzo delle risorse naturali, come l'acqua, il vento, il sole e la terra. Ad esempio nelle città lungo il mare, gli edifici erano sempre rivolti verso l'acqua, beneficiando della brezza marina. Invece gli edifici risultavano serrati e chiusi nei confronti del deserto, proteggendoli dalle tempeste di sabbia.

L'ultimo tema chiave nella città araba è la massimizzazione del volume interno, e la minimizzazione delle superfici esterne. Questo tema veniva affrontato sia nelle strade, spesso coperte, per ridurre l'irradiazione solare, ma nello stesso tempo aumentando la ventilazione naturale. Nelle case invece lo spazio coperto era distribuito attorno ad un cortile interno, separato da un patio. Questo sistema garantiva la protezione dai raggi solari, e la creazione di uno spazio aperto spesso in ombra, con temperature ridotte e ben arieggiato. Infatti la temperatura nelle corti è sempre inferiore a quella esterna, grazie alla ventilazione naturale che si innesca nell'area. L'ultimo elemento è l'utilizzo di mashrabiya, elementi lignei applicati lungo le aperture, caratterizzati da disegni tratti dall'arte araba, che fungevano da protezione sia per la privacy, sia per l'irradiazione solare. Infine l'utilizzo di materiali come il mattone ed il legno, assicurava una buona isolamento termica dell'edificio.

1.2.2 ASPETTI SOCIALI

Lo studio antropologico della popolazione araba aiuta ad identificare la pianificazione urbana. Nella città araba, ad esempio, è possibile ricondurre alcuni aspetti urbani al modo di vivere lo spazio da parte degli uomini e delle donne. Come sostiene Mohamed Boughali

“Man only builds upon oppositions and the form that he creates exist only in their opposition to their context, the exterior as opposed to the interior, fullness as opposed to emptiness”³. L'uomo costruisce per creare qualcosa di diverso rispetto al mondo naturale, per proteggersi da un lato, ma anche per ottimizzarlo.

Un tema importante nella civiltà araba è la ricerca di privacy, che si esprime nella costruzione di case a corte, il cui spazio interno è accessibile solo dalla famiglia, o da conoscenti stretti. Un altro elemento è la separazione tra uomini e donne: le donne sono come le loro case, simbolo di intimità e privacy; gli uomini, d'altro canto, sono il flusso che anima la città, le strade che collegano la periferia residenziale con il mercato centrale. La città araba nasce dall'aggregazione familiare delle abitazioni, creando una gerarchizzazione spaziale connessa con il legame familiare. La Medina può essere immaginata come una successione di spazi chiusi, ma strettamente interconnessi gli uni con gli altri.

L'ultima chiave di lettura riguarda la differenza tra la Medina e la città europea: quest'ultima viene progettata a partire dal vuoto, ovvero dalle strade, elemento che risulta estraneo nella città Araba. I principali problemi delle città arabe nel Nord Africa riguardano infatti lo sventramento dell'antica città, per la creazione di nuovi assi stradali, come era già accaduto nella Parigi haussmanniana.

1.2.3 L'ARCHITETTURA

Gli archetipi della città araba, nella fase pre-industriale, erano: la cittadella, il palazzo, la moschea, il bazar e le case a corte. Una delle città più antiche degli Emirati Arabi è Ras Al Khaimah, insieme a Fujairah, entrambe sorte lungo la costa. Nel deserto, infatti, vivevano solo comunità di nomadi beduini. Le città più antiche erano protette da un sistema di fortificazioni esterne, con forti e torri d'avvistamento, generalmente costruiti in mattoni, fatta eccezione per Ras Al Khaimah, che venne realizzata in pietra, grazie alla presenza delle cave nelle Oman Mountains.

Di seguito vengono illustrate tre Medine, come si può leggere entrambe le cittadine si sviluppano lungo un asse principale, che unisce la zona residenziale al bazar, che solitamente veniva realizzato ad un estremo della cittadina.

³ Mohamed Boughali, filosofo, etnografo e scrittore marocchino.

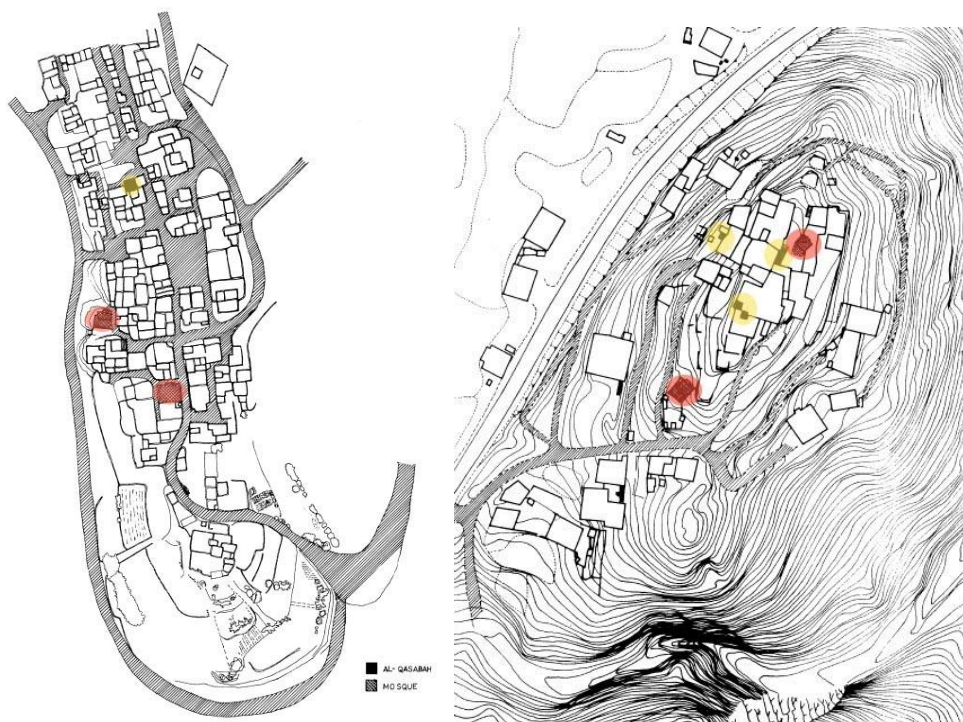


Figura 26 e Figura 27 Pianta della Medina di Al Kas, in Arabia Saudita e la Medina di Al Malad, in Arabia Saudita. In rosso la moschea, in giallo le torri di difesa, in bianco le residenze[13]

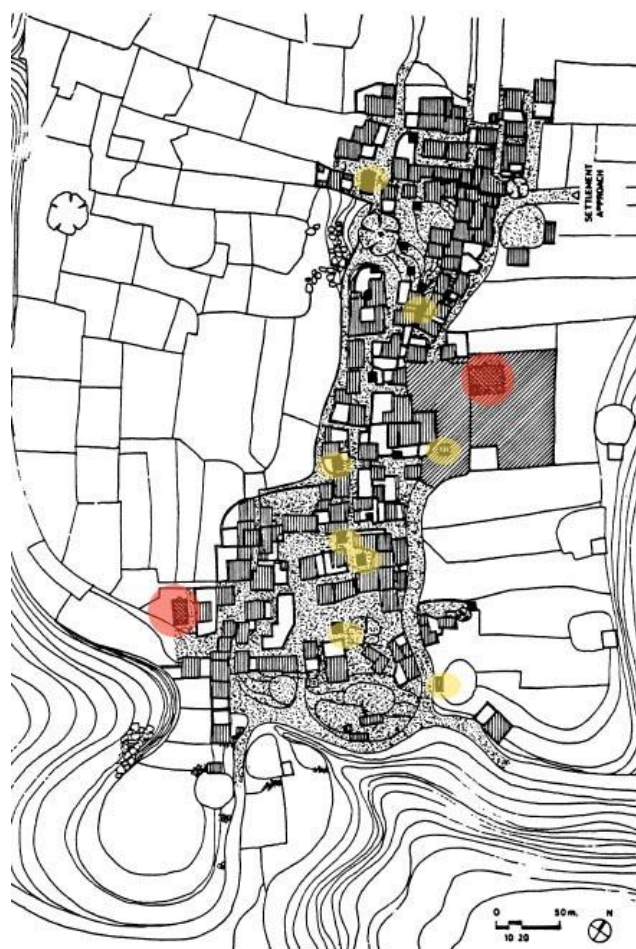


Figura 28 Pianta della Medina di Al- Alkhalaf, in Arabia Saudita. In rosso la moschea, in giallo le torri di difesa, in nero le residenze [13]

1.3 L' URBANISTICA

1.3.1 IL FLUSSO DINAMICO DELLE PERSONE NELLA CITTÀ

"A city is no longer conceived as the lifeless inert structure that supports life, as does the sum of buildings, technologies and district isolated elements; on the contrary, it is an evolutionary organism that constantly interacts with people; it is customized by people and customizes human behaviour".⁴

La città non può e non deve essere letta come una semplice composizione, aggregazione, di elementi differenti tra loro, la città deve essere letta nella sua unità, nella morfologia intrinseca di tutti elementi che la compongono, e dal leggero flusso, il fil rouge, che li unisce e collega. Il flusso delle persone, nel loro vivere lo spazio crea la stessa città. Per questo motivo non è pensabile una mera progettazione, che nasca dal singolo quartiere, e si sviluppi come aggregazione di elementi, deve essere letta come una rete interconnessa di fattori, che nel loro crescendo anima lo spazio. Questo concetto è stato a mio parere, espresso pienamente da Himmelb(l)au:

"The development of a city is nothing else but the three dimensional system of our brain. How we think can be compared with the development of even a mega-city. That means that if all the synapses are connected, every district is connected with every district, every person is connected with every person. That's not the way our brain works. On the other hand, it doesn't work like high-rack system, like a diamond - it's a system in between , it's perfect to connect with the city planning issue."⁵

Risulta importante pensare alla città come ad una proprietà collettiva, non come la somma di interessi individuali. Questo tema è caro all'urbanistica moderna, che con lo sviluppo delle metropoli rischia di classificare l'individuo come una pedina in una rete di elementi, aumentando la solitudine delle persone, e l'assenza di scambi sociale. Questo tema è stato affrontato nel libro "Il condominio" di J. G. Ballard, in cui la vita in un grattacielo tende a dividere le persone, che in assenza di luoghi atti alla socialità, tende a disgregare il concetto stesso di comunità, esponendo l'individuo alla solitudine ed estraneità rispetto alla città stessa.

Due ricerche svolte negli ultimi anni hanno analizzato il flusso di persone, la prima è stata svolta dalla municipalità di Amsterdam, la seconda da Carlo Ratti, all'interno del suo laboratorio SENSEable City Laboratory, presso l'MIT di Boston in collaborazione con il dipartimento senese di Chimica e Biosistemi. Il progetto della municipalità di Amsterdam, "The Amsterdam Real Time Project", ha permesso di individuare i percorsi di numerosi cittadini, grazie all'ausilio di un GPS, che è stato donato per due mesi alle persone interessate, nel 2002. La rielaborazione dei dati forniti dal GPS ha permesso la creazione di una mappa multimediale, in cui sono leggibili tutti gli spostamenti delle persone, evidenziando le principali vie di comunicazione della città.

⁴ 14. Pulselli, R.M., C. Ratti, and E. Tiezzi (2006) *City out of Chaos: Social Patterns and Organization in Urban Systems*. International journal of Ecodynamics **1**, 125- 134.

⁵ Interview, Wolf D. Prix, Coop Himmelb(l)au. www.floornature.com

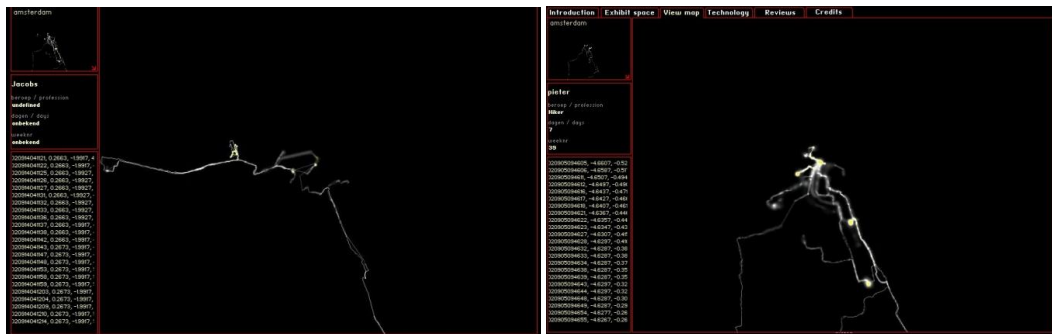


Figura 29 Mappa di Amsterdam, a partire dai percorsi di Peter e Jacobs[15]

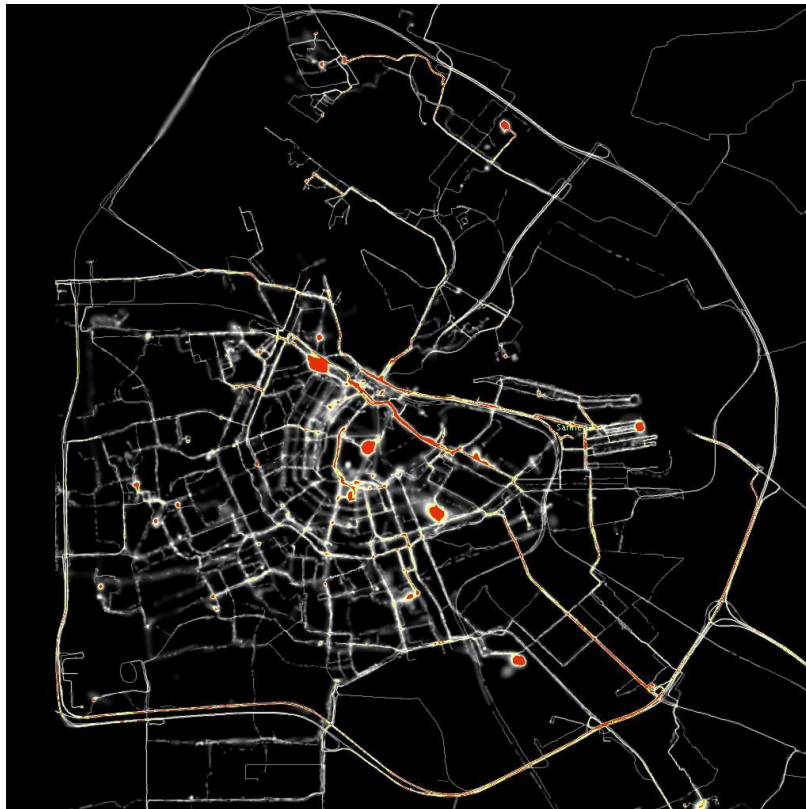


Figura 30 Mappa di Amsterdam, creata dalla rielaborazione dei dati GPS dei cittadini[15]

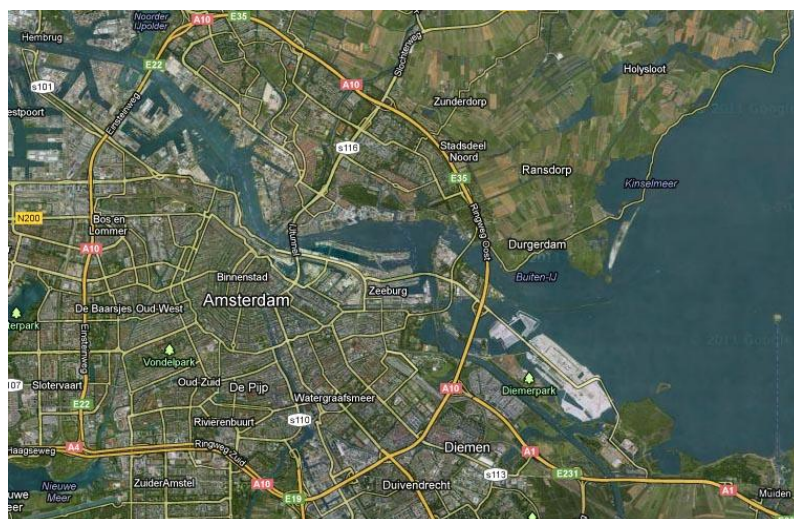


Figura 31 Mappa di Amsterdam. Ortofoto tratta da Google Earth

Il progetto di Carlo Ratti è stato svolto a Milano, e la mappa dei percorsi cittadini è nata dal rilievo di tutti i cellulari dell'hinterland milanese, in un'area di circa 400 [km²]. Dallo studio delle chiamate effettuate, è stato possibile individuare la posizione dei cittadini, ed il loro flusso di ingresso ed uscita dalla città.

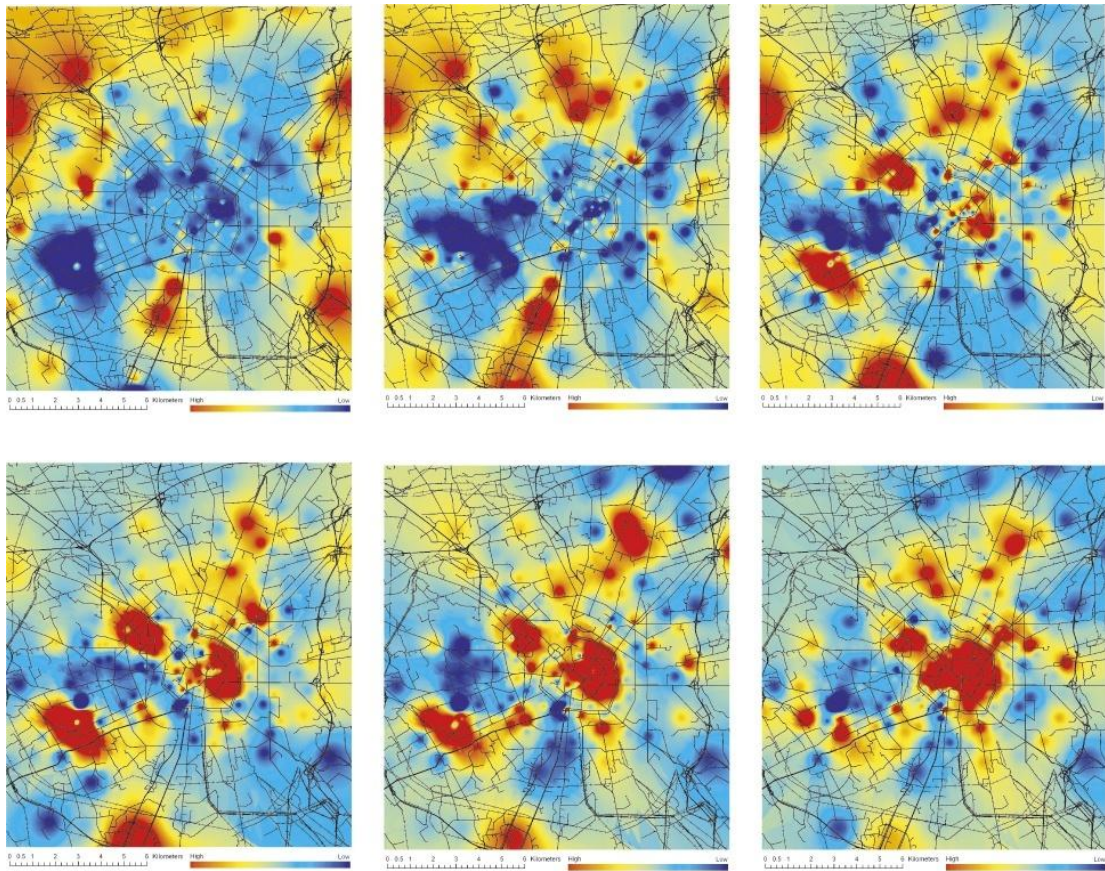


Figura 32 Carlo Ratti, studio del flusso di persone nella città di Milano, dalle 9.00 alle 13.00 [16]

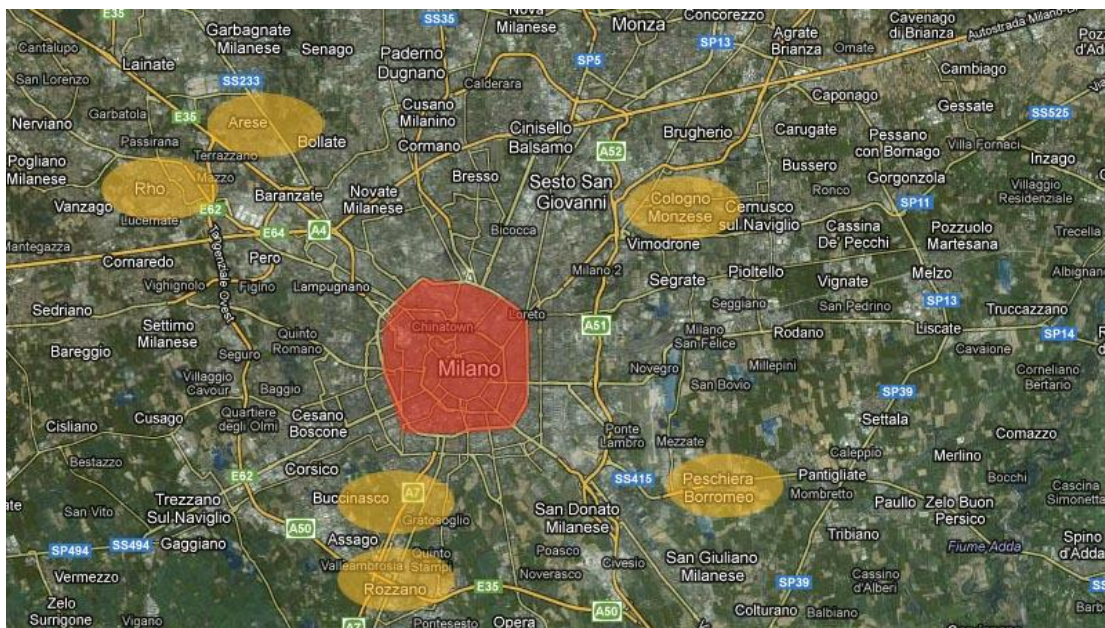


Figura 33 Mappa di Milano, con indicazione delle città satellite. Ortofoto tratta da Google Earth

Questi studi dimostrano la necessità di un nuovo approccio urbanistico, che nasca dal flusso delle persone, dalla loro percezione della città. Nel caso di Milano sono visibili i principali poli di residenza, ovvero le città di Rho, Arese, Cologno Monzese, Buccinasco, Rozzano e Peschiera Borromeo. Tutte queste città infatti hanno avuto un boom demografico a partire dagli anni Ottanta, come città satellite di Milano. Il progetto di Amsterdam invece evidenzia il vero movimento delle persone, quali sono le vie preferenziali per lo spostamento e gli orari. Entrambe le ricerche sono indispensabili per un nuovo approccio all'urbanistica ed alla mobilità.

1.3.2 LINEE GUIDA PER LA PROGETTAZIONE URBANA

Nei paesi di clima desertico è importante riconoscere delle linee guida per ottimizzare la progettazione urbanistica a livello bioclimatico. Il principale esponente dell'architettura bioclimatica in paesi dal clima desertico è Baruch Givoni, un architetto israeliano, tra i maggiori esponenti mondiali dell'architettura bioclimatica. L'autore ha redatto numerosi libri, e tre di questi sono stati particolarmente utili per lo sviluppo di questa tesi: *"Man, climate and Architecture"* (1969), *"Urban design in different climates"* (1989) e *"Climate considerations in Edificio and Urban Design"* (1998).

L'autore definisce alcune linee guida per un corretto approccio bioclimatico in paesi a clima desertico, le quali riguardano: la minimizzazione del fabbisogno energetico per raggiungere il confort e l'utilizzo delle fonti energetiche rinnovabili, come il sole per il riscaldamento e la ventilazione naturale per il raffrescamento.

Di seguito vengono elencate le linee guida:

- Ricercare un luogo con il clima più favorevole.
- Minimizzare la temperature urbana.
- Migliorare la ventilazione naturale, grazie ad una corretta orientazione e disegno degli edifici.
- Garantire l'ombreggiamento nelle strade e negli spazi aperti.
- Minimizzare il livello di polveri nell'aria.
- Garantire una corretta illuminazione nel periodo invernale.
- Minimizzare l'apporto della radiazione solare durante i mesi più caldi.
- Garantire una protezione dalle tempeste di sabbia.

Un elemento chiave nell'approccio bioclimatico è l'analisi dello stress causato dagli elementi naturali, nei confronti delle persone. In questo caso vengono individuate tre cause di stress:

- Lo stress causato dalle alte temperature e dalla forte irradiazione solare.
- L'abbagliamento causato dal sole.
- I forti venti, e le tempeste di sabbia.

Per ridurre lo stress a cui sono sottoposte le persone in questi climi, è opportuno garantire spazi aperti ombreggiati e ventilati, grazie alla forma degli edifici ed alla vegetazione. Per quanto riguarda il disegno degli edifici, l'autore sottolinea che è importante porre le aperture lungo le facciate esposte a Nord e Sud, riducendole invece ad Ovest ed Est. Inoltre

è importante avere una distanza ridotta tra gli edifici lungo l'asse Est- Ovest, per limitare la radiazione solare, ed aumentare le ombre portate.

L'obiettivo principale della progettazione bioclimatica negli Emirati Arabi è progettare una città in cui la temperatura diurna sia ridotta, rispetto a quella nelle aree inurbate. Questo obiettivo può essere raggiunto grazie ad un'alta densità del tessuto edilizio, l'alternarsi nel numero di piani degli edifici e riducendo l'albedo. Nella città la presenza di tetti bianchi può assorbire maggiormente la radiazione solare incidente, e ridurre la sua penetrazione nelle strade e nelle corti. Anche la vegetazione assume un ruolo importante, grazie alla capacità delle foglie di produrre umidità, migliorando il confort igrometrico esterno.

Inventi negli Emirati Arabi, ma in generale in molti paesi a clima arido, sferzano durante le ore diurne, per ridursi durante la notte. Questo può risultare un problema nella ventilazione naturale, poiché durante le ore diurne sarebbe indicato tener chiuse le finestre, per non lasciar infiltrare l'aria calda esterna. Alcuni punti chiave per garantire una corretta ventilazione naturale sono elencati di seguito:

- Progettare edifici in cui le unità familiari occupino tutta l'altezza, poiché l'aria fresca è maggiore ai piani più alti rispetto al piano stradale.
- Utilizzare torri del vento o per canalizzare il flusso d'aria fresca dai tetti alla base degli edifici.
- Garantire una corretta distanza tra gli edifici, in modo da incrementare la ventilazione.
- Gli edifici devono essere posizionati perpendicolarmente rispetto alla principale direzione del vento.

Riguardo alla posizione degli edifici, per garantire una corretta ventilazione, ma nello stesso tempo ridurre la radiazione solare, è raccomandabile mantenere una distanza ridotta lungo gli assi Est- Ovest, in proporzione distanza- altezza pari a 1:5, mentre lungo l'asse Nord- Sud possono avere un rapporto pari a 2:1.

1.3.3 LE AREE VERDI

La vegetazione nel contesto urbano può influire notevolmente sia nel microclima, sia nella percezione dello stress nelle persone. Riguardo al contesto urbano ed ai rapporti sociali si possono distinguere le seguenti linee guida sugli effetti della vegetazione:

- Riduzione del livello di inquinanti nell'aria, prodotti dai trasporti, le industrie e le abitazioni.
- Creazione di spazi per attività sociali, e luoghi d'aggregazione.
- Sviluppo di una percezione positiva dei soggetti riguardo all'estetica della città.
- Separazione territoriale dei diversi quartieri e funzioni.
- Miglioramento della mobilità sostenibile.
- Salvaguardia della flora e della fauna.
- Protezione dalle alluvioni, grazie alla capacità delle piante di assorbire l'acqua.
- Creazione di zone ombrate, protezione dai venti e dalle tempeste di sabbia, riduzione della temperatura.

La vegetazione può inoltre influenzare il microclima urbano, grazie alla capacità delle piante di:

- Avere una bassa capacità termica e conduttività.
- Assorbire l'irradiazione solare, riducendo la radiazione riflessa e l'albedo.
- Aumentare l'umidità nell'aria, grazie all'evaporazione dell'acqua trattenuta dalle foglie e dal terreno.
- Filtrare la polvere dall'aria.
- Ridurre la velocità e l'intensità del vento.

1.3.4 URBANISTICA ARABA, DUE CASI STUDIO

Di seguito vengono illustrati due esempi di urbanistica araba, il primo riguarda la città di Kashan, in Iran, mentre la seconda il fenomeno delle *"Gated houses"* in Libano.

Kashan, Iran



Figura 34 La città di Kashan in Iran. Ortofoto da Google Earth

La città di Kashan è situata in una zona desertica dell'Iran, ed ha origini preistoriche. L'autore dell'articolo *"Energy efficient architectural design strategies in hot dry area of Iran: Kashan."*[17] analizza la città dalla macro alla micro scala, evidenziando gli elementi bioclimatici che la caratterizzano.

Le strategie bioclimatiche alla macro scala sono le seguenti:

- I muri esterni sono più alti di quelli interni, per garantire un corretto ombreggiamento nelle strade e nelle corti.
- La città è protetta da una fortificazione esterna, come difesa da attacchi nemici, e dalle tempeste di sabbia.
- Le strade sono irregolari, e rivolte verso la direzione prevalente del vento, per ridurre la forza del vento nel contesto cittadino.

Le strategie bioclimatiche alla medio scala sono le seguenti:

- Le case a corte sono la principale tipologia abitativa; nella corte è spesso presente una vasca d'acqua ad alcune piante, per aumentare l'umidità dell'aria, e ridurre la temperatura. Inoltre le corti risultano per la maggior parte del giorno protette dall'ombra portata dagli edifici. Infine nella corte si sviluppa una ventilazione naturale, che raffresca sia lo spazio esterno, sia l'interno degli edifici.
- Le superfici esterne sono ridotte, massimizzando il volume interno.
- Gli edifici sono costruiti in argilla ed i suoi derivati, poiché questo materiale ha una forte resistenza ai raggi solari, ed una grande inerzia termica.
- Le pareti esterne sono intonacate con colori chiari.
- La superficie vetrata è ridotta al minimo.
- La ventilazione naturale è incrementata nelle ore serali e notturne.

Le strategie bioclimatiche alla micro scala sono le seguenti:

- Il patio esterno è un luogo di separazione tra l'ambiente interno e la corte.
- Le torri del vento aspirano l'aria dalla parte superiore, la raffrescano ed umidificano grazie al passaggio su vasche d'acqua interrata. Le torri funzionano sia durante le ore diurne che notturne, ma invertendo il ciclo, come visibile nella figura sottostante.

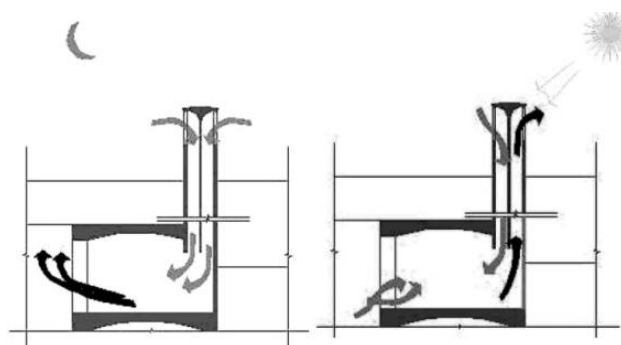


Figura 35 Schema per indicare il funzionamento delle torri del vento durante le ore notturne e diurne[17]

Nella figura 36 sono definiti i punti chiave per la progettazione bioclimatica nella città di Kashan.

Scale	Past Climate Responsive Design Strategy(s)	Solution(s) for Future Design
Macro	Distance between buildings; Enclosed urban environment; Narrow and irregular streets	Adopting urban environment with natural elements (such as winds' puff) from urban design point of view
Medium	Building form; Building envelope; Self-Efficiency in materials; Optical and thermophysical properties of the building envelope	Developing shady areas in contemporary designs; Developing methods of using domestic materials in constructions
Micro	Atrium and Courtyard; <i>Eyvan</i> and <i>Revak</i> ; Wind catcher (Air trap)	Revival of some architectural elements and developing for current uses; Inspiration from traditional systems to create energy efficient systems based on local possibilities

Figura 36 Aspetti bioclimatici nella città di Kashan, Iran[17]

Gated housing in Arabia Saudita

Il fenomeno delle Gated housing deve il nome all'antico caravanserraglio, ma assume una connotazione negativa, riferita agli attuali quartieri residenziali edificati secondo gli standard americani. Il termine gate, ovvero porta, si riferisce alla protezione, alla difesa della cittadella, come accadeva in passato nei caravanserragli, ma in questo caso i quartieri non rischiano di essere attaccati da invasori, bensì si "proteggono" dalla civiltà autoctona. Infatti in questi quartieri vengono seguiti gli standard americani, e le donne possono girare senza velo. L'analisi svolta da George Glasze e Abdallah Alkhayyal mette in evidenza il distacco tra le antiche costruzioni arabe, e gli attuali quartieri residenziali filo-occidentali. Nell'immagine sottostante è visibile la pianta della Gated housing in Ar Riyad, che viene descritta da un abitante, con certo stupore, come: *"I almost feel like I were still in Miami here; there is a basket court, there is a pool, there will be a highway to the city..."*. [12]. Come si può leggere dalla pianta, non vi alcun riferimento all'architettura autoctona: gli edifici sono molto lontani gli uni dagli altri, e connessi tra loro per mezzo di grandi strade trafficabili. Il fulcro del progetto risulta il centro commerciale ed il campo sportivo. Non vi è alcun accenno ad un'attenzione bioclimatica nella progettazione.

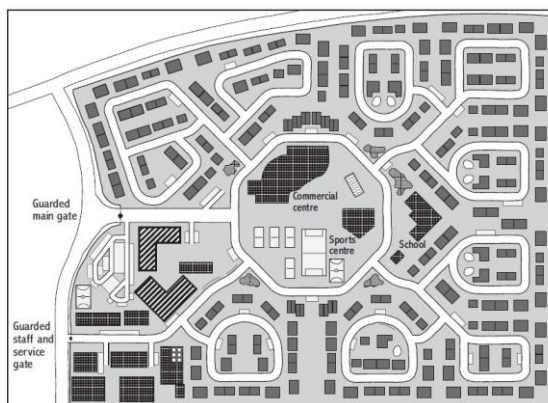


Figura 37 Pianta della Gated housing in Ar Riyad

1.4 L'ARCHITETTURA

1.4.1 I MATERIALI

Givoni nel libro "Man, climate, and architecture" [18] descrive gli elementi chiave per una progettazione bioclimatica in paesi dal clima caldo secco, addentrandosi nella descrizione dei materiali. La prima analisi per la progettazione di un edificio riguarda la temperatura esterna, e la differenza tra il giorno e la notte. L'approccio nella mera progettazione dell'edificio si divide in tre fasi: l'orientazione, lo studio della captazione esterna degli edifici, connessa alla radiazione solare incidente; l'inerzia termica dei materiali [R] e la capacità termica [Q]. L'inerzia termica regola il flusso di calore dall'esterno all'interno della superficie. Nell'immagine sottostante viene indicata l'inerzia termica di alcuni materiali: a parità di spessore l'acqua ed il legno hanno una migliore inerzia termica, seguiti dal laterizio. Il vetro e l'acciaio hanno la resa minore.

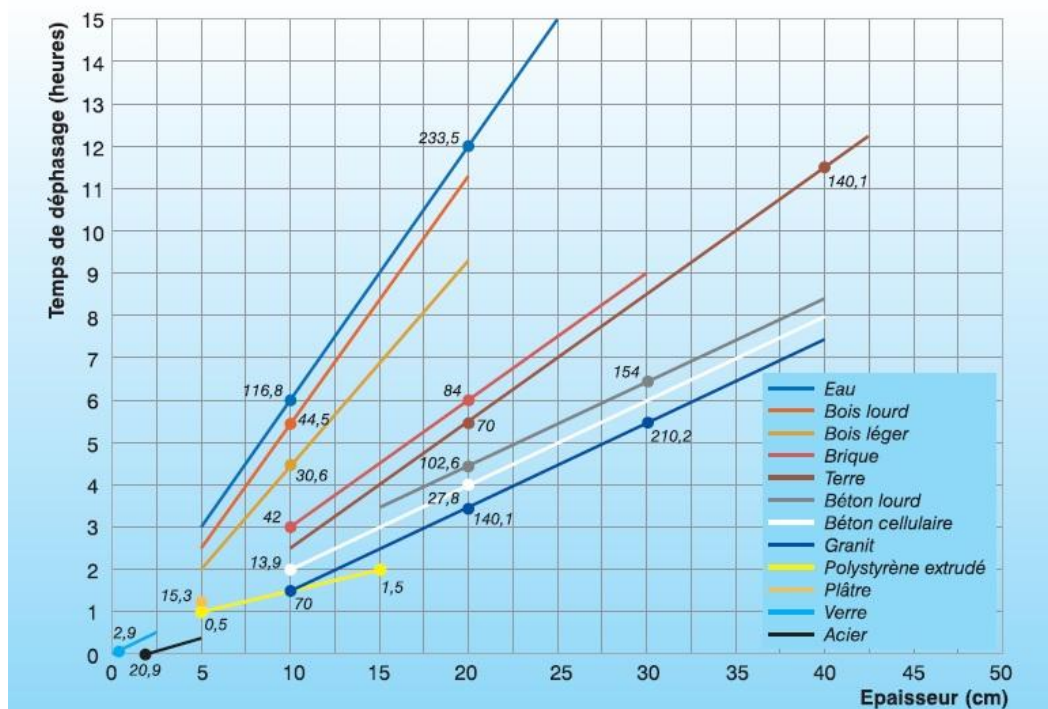


Figura 38 L'inerzia termica di alcuni materiali[3]

1.4.2 IL PROGETTO DELL'EDIFICIO

Gli elementi più importanti nella progettazione dell'edificio in clima desertico sono connessi con la forma dell'edificio, la ventilazione naturale, le aperture, la composizione dei muri esterni e l'utilizzo di case corte.

Per quanto concerne la forma dell'edificio, possiamo individuare due elementi chiave: la compattezza del volume, riducendo le superfici esterne e massimizzando quelle interne, e l'orientazione Nord- Sud, definita come ottimale.

La ventilazione naturale deve tener conto della necessità di essere nulla durante le ore diurne, e massimizzata durante la notte. La ventilazione è inoltre correlata con l'orientazione e disposizione delle finestre.

Le aperture devono essere ridotte, e posizionate in maniera equa sopra e sottovento; se si desidera realizzare aperture ampie, è necessario proteggerle con sistemi schermanti, i quali devono rimanere chiusi nelle ore diurne. Le aperture devono, infine, essere maggiori nei prospetti Nord- Sud, poiché la radiazione solare è minima nel periodo estivo, ma massima in quello invernale.

Gli edifici devono avere possibilmente il tetto piano, e devono essere costruiti con materiali con un'alta capacità termica e dotati di un isolamento esterno. L'intonaco di protezione deve avere una colorazione chiara, ma non bianca, per ridurre l'abbagliamento. I tetti devono essere bene isolati, ed è ipotizzabili l'utilizzo di un'intercapedine d'aria, in grado di agire da isolante nelle ore diurne, e grazie a delle aperture di creare una corrente d'aria fresca, che migliori il raffrescamento dell'edificio.

Il patio di ingresso, come elemento di separazione tra il cortile e l'abitazione è uno degli elementi chiave della progettazione: permette la creazione di una corrente fresca, grazie all'ausilio di elementi chiudibili, è possibile regolarne la temperatura. Infine la presenza di piante all'interno delle corti permette un miglior raffrescamento ed umidificazione dell'aria.

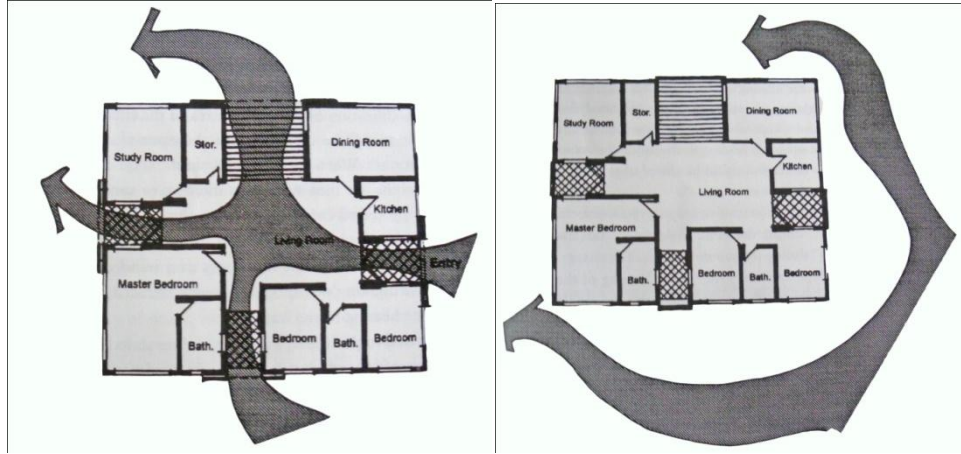


Figura 39 Schema di un'abitazione a corte [19]

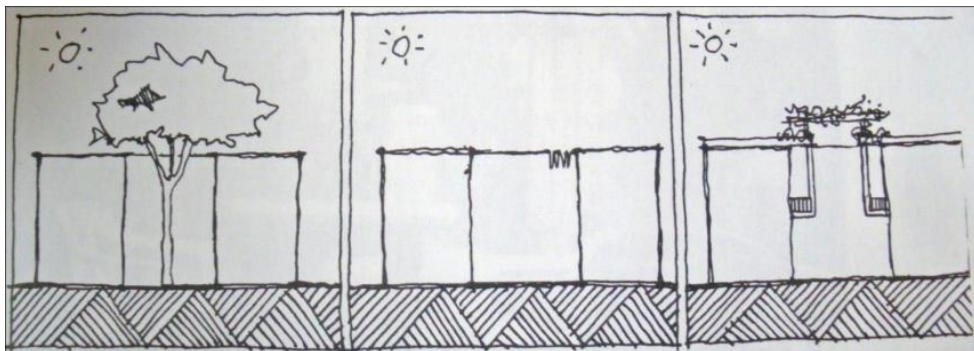


Figura 40 Differenti metodi per ombreggiare il patio[19]

1.4.3 CONFORT E RISPARMIO ENERGETICO

Givoni dedica un intero capitolo ai metodi per raggiungere un confort interno agli edifici, ma interessandosi al risparmio energetico. La temperatura interna deve essere pari a 27-28 [°C] durante il periodo estivo, questa temperatura può risultare molto alta rispetto ai canoni occidentali, ma valutando la temperatura esterna nel clima desertico, che può raggiungere i 45 [°C], risulta interessante per evitare grandi sbalzi di temperatura. La velocità interna dell'aria deve raggiungere 1.5 [m/s], con un ricambio orario di 0.5, esso deve essere ridotto nelle ore diurne ed aumentato durante la notte. La temperatura interna nel periodo invernale dev'essere pari a 25- 26 [°C] durante il giorno, e 18 [°C] nella notte.

Le strategie per raggiungere un adeguato risparmio energetico, indispensabile nella progettazione eco sostenibile, riguardano l'utilizzo della ventilazione naturale, come

metodo ideale per garantire il raffrescamento dell'edificio; l'energia solare risulta invece utile durante il periodo invernale, per garantire un confort interno agli ambienti non riscaldati. L'abbassamento della temperatura interna può essere raggiunto anche con una buona isolamento dell'edificio, un'infiltrazione dell'aria limitata, un'orientazione ottimale dell'edificio e delle aperture, una colorazione chiara delle pareti esterne.

1.4.4 OTTIMIZZAZIONE DELLA VENTILAZIONE

Per garantire una ventilazione ottimale dell'edificio è necessario definire correttamente la forma dell'edificio, come visibile nella figura 41 è importante incrementare la superficie perpendicolare alla direzione del vento. Un elemento tratto dall'archetipo bioclimatico dei paesi arabi sono le torri del vento (Bagdir) ed i Malqaf. I Bagdir derivano dall'area del Golfo; essi hanno aperture nella parte superiore, orientate in tutte le direzioni, e servono per captare l'aria e per estrarla. I Malqaf iraniani hanno pianta rettangolare, sono costruiti in mattoni ed hanno un'altezza compresa tra gli 8 ed i 15 metri. L'aria viene convogliata nelle stanze sottostanti, oppure nel cortile. I Bagdir, o torri del vento, posso avere diverse forme, inoltre quando non vi è un vento prevalente, come accade nell'area di Ras Al Khaimah, le aperture sono posizionate in tutte le direzioni, e la torre del vento diventa un camino di estrazione dell'aria calda dall'area sottostante.

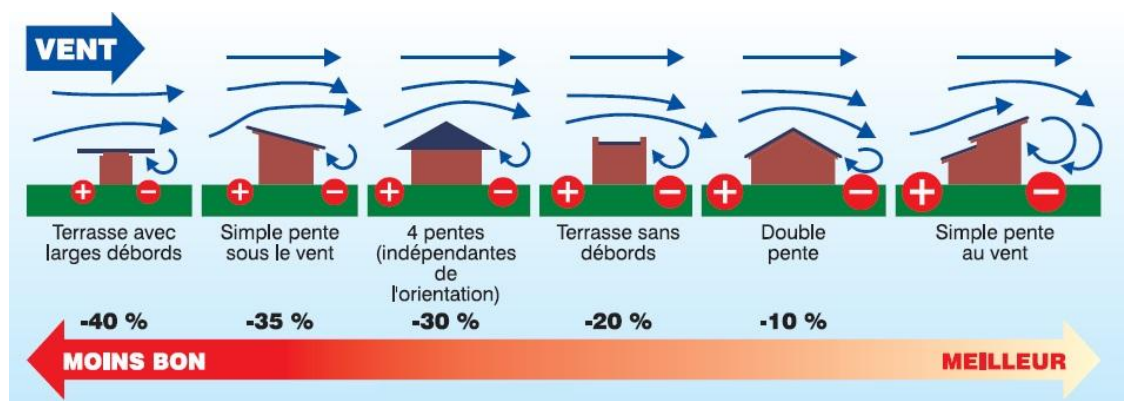


Figura 41 Ottimizzazione delle ventilazione naturale in base alla tipologia della copertura [3]

1.4.5 L'ARCHETIPO DELLA FORMA ARCHITETTONICA

Nella figura 42 sono rappresentate due abitazioni storiche negli Emirati Arabi. Si può notare che la pianta sia trapezoidale, con una corte interna (in verde), separata dalle camere per mezzo di un porticato. Inoltre sono ben visibili le torri del vento (in giallo), posizionate agli angoli della costruzione oppure all'interno del cortile, svolgendo la duplice funzione di estrarre l'aria calda nelle stanze oppure nella corte. Quest'ultima è un vero e proprio giardino, come visibile dalla pianta, poiché la vegetazione ha la duplice funzione di umidificare l'aria e proteggere dalla radiazione solare incidente.

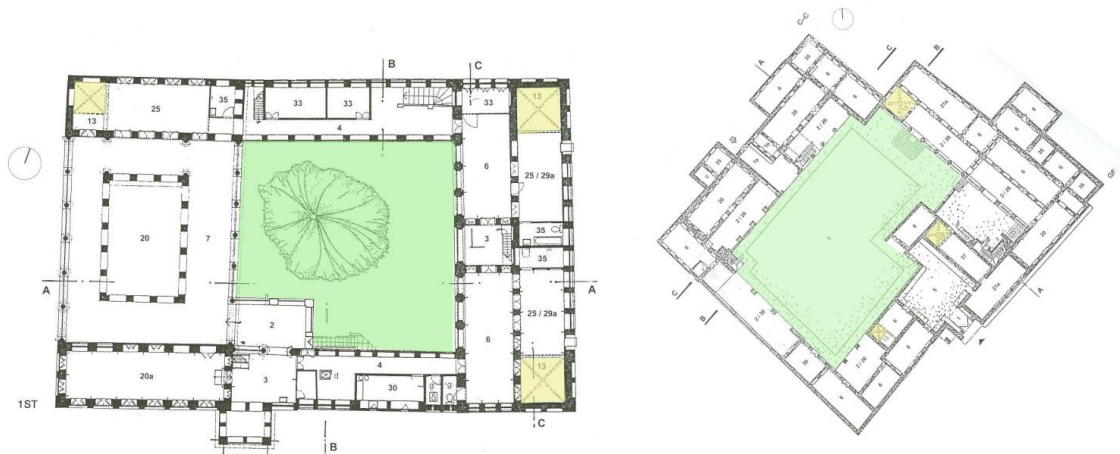


Figura 42 L'architettura vernacolare, a sinistra "house Bukhash" a Dubai. A destra "house of Sheikh Al- Maktoum"

1.5 MASDAR E KAUST_ DUE PROGETTI ECOSOSTENIBILI NELLA PENISOLA ARABA

LA CITTÀ DI MASDAR

La città di Masdar è sita nell'emirato di Abu Dhabi, ed è stata progettata dallo studio di Norman Foster. La città è sita su un' area di 6 [km²] per una popolazione di 40,000 abitanti, ed è stata inaugurata nel 2006.



Figura 43 La città di Masdar. Tratto dal sito di Masdar

La forma della città, su pianta rettangolare, risponde alle esigenze bioclimatiche, aumentando la densità edilizia e riducendo la radiazione solare. Come si vede nelle

immagini sottostanti la temperatura nelle strade è inferiore a quella nella città di Abu Dhabi.



Figura 44 Masdar. Termo fotografia a confronto con Abu Dhabi. Tratto dal sito di Masdar

I punti chiave della sostenibilità di Masdar sono riassunti come segue (tratto dal sito della città):

- Orientazione: gli edifici sono orientati minimizzando l'apporto solare sugli stessi e sulle strade, massimizzando però la ventilazione notturna.
- Integrazione: tutti gli aspetti della vita sociale, dal lavoro all'abitazione, agli spazi comuni, sono vicini, minimizzando l'uso dei trasporti.
- Alta densità, ridotta altezza: la maggior parte degli edifici non superano i cinque piani.
- Una città vibrante: gli spazi aperti e gli edifici invitano gli abitanti alla riunione, creando spazi di aggregazione.
- Interesse per i pedoni: le strade sono ombreggiate, e sono ambienti piacevoli per passeggiare, riducendo così il trasporto.
- Alta qualità della vita: la città offre grandi opportunità di lavoro e spazi culturali.

A livello energetico il 20 [%] del fabbisogno è coperto da energie rinnovabili, grazie ad un vasto campo fotovoltaico. L'utilizzo dell'acqua è razionato, ed i giardini sono irrigati grazie all'impianto di depurazione.

La mobilità è principalmente pedonale, ma esiste un servizio pubblico elettrico, tra cui una metropolitana sotterranea elettrica.



Figura 45 Masdar. Corte centrale. Tratto dal sito di Masdar



Figura 46 Masdar. Torre del vento. Tratto dal sito di Masdar

KAUST_ KING ABDULLAH UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Kaust è un campus universitario in Arabia Saudita, inaugurato nel 2009. L'aria del campus è pari a 36 [km²].

La progettazione sostenibile garantisce la naturale ventilazione ed illuminazione degli edifici. L'impianto fotovoltaico di 12,000 [m²] garantisce la produzione di 3,300 [MWh] l'anno. La pianta del campus è composta dall'aggregazione dei diversi edifici, intervallati da ampie corti aperte. L'approvvigionamento acquifero deriva principalmente dalla desalinizzazione dell'acqua marina, ma in sito è presente un purificatore dell'acqua, che garantisce una buona copertura dei fabbisogni.



Figura 47 Kaust. Masterplan. Tratto dal sito di Kaust

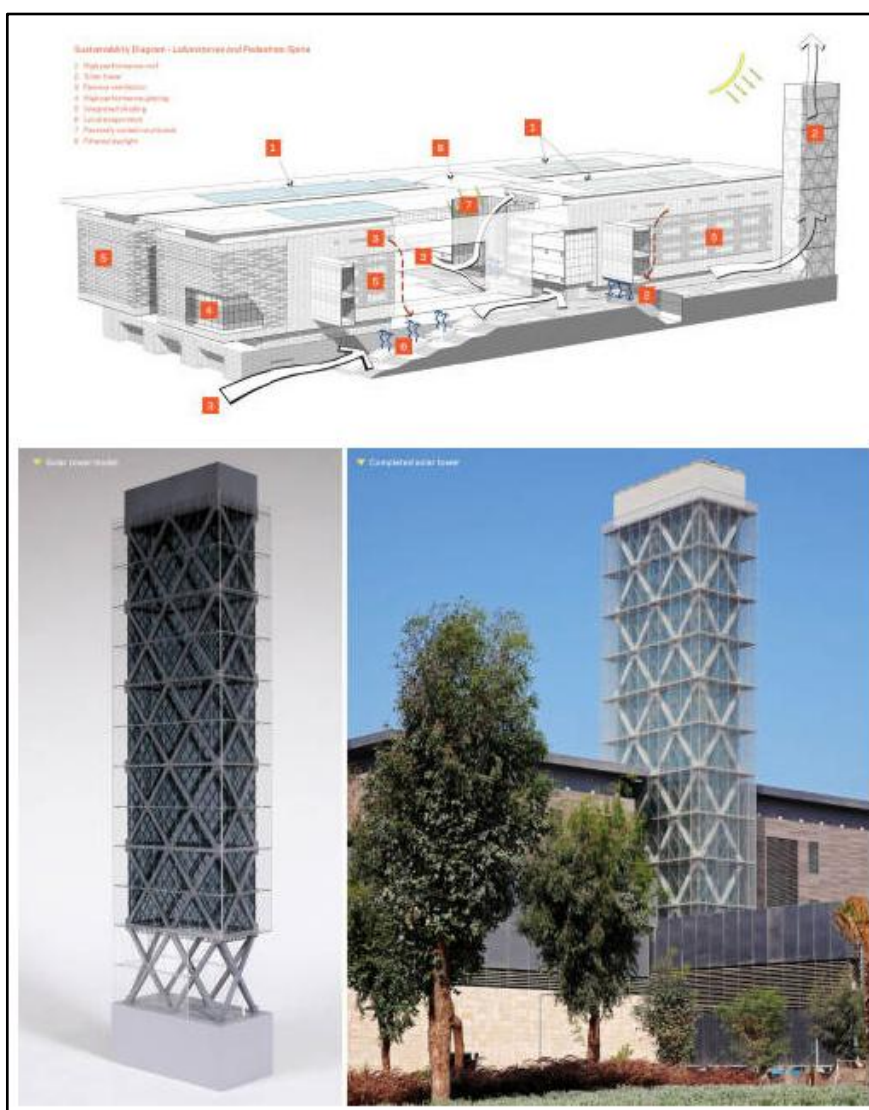


Figura 48 Kaust. Le torri solari. Tratto dal sito di Kaust

1.6 RAS AL KHAIMAH

L'emirato di Ras Al Khaimah è situato nell'area settentrionale degli Emirati Arabi Uniti, al confine con l'Oman. La città di Ras Al Khaimah ha un'origine antica; infatti grazie ai resti archeologici è stato possibile individuare un civiltà risalente al terzo millennio aC, di nome Umm Al Nar. L'emirato è sempre stato una zona strategica per il controllo della zona meridionale del Golfo, per questo motivo fino alla fine del XIX secolo ha subito numerose occupazioni, da parte dei persiani, portoghesi e tedeschi.

L'economia tradizionale è basata sulla pesca, allevamento ed agricoltura, quest'ultima è stata completamente modernizzata negli ultimi decenni. L'emirato è il principale produttore ed esportatore, all'interno dei confini degli UAE, per quanto riguarda la produzione di latte, frutta e verdura. Le montagne sono invece fonte primaria per l'estrazione della pietra. L'estrazione del greggio è invece limitata, a differenza degli altri stati. Gli assi primari della forte economia di Ras Al Khaimah sono:

- Real estate, con numerose residenze, uffici e commercio.
- Il turismo, che è aumentato negli ultimi anni, incrementando i progetti nell'area.
- La produzione di materiali da costruzione, come il cemento e la ceramica. La prima fabbrica di cemento è stata fondata nel 1980.
- L'industria high-tech, come la Falcon Technologies International (FTI) e l'industria farmaceutica, come la Gulf Pharmaceutical Industries (Julphar).

Rak city è il centro storico della città. Questo quartiere è situato vicino al mare, ed appare come una Medina, caratterizzato da strade strette e tortuose, con edifici a corte in un tessuto urbano continuo.

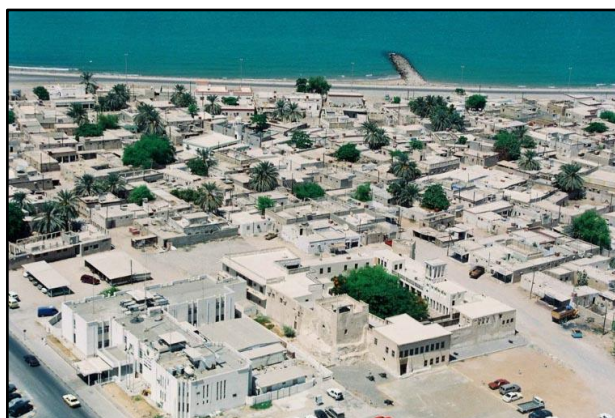


Figura 50 Rak City. Vista aerea da Google Earth

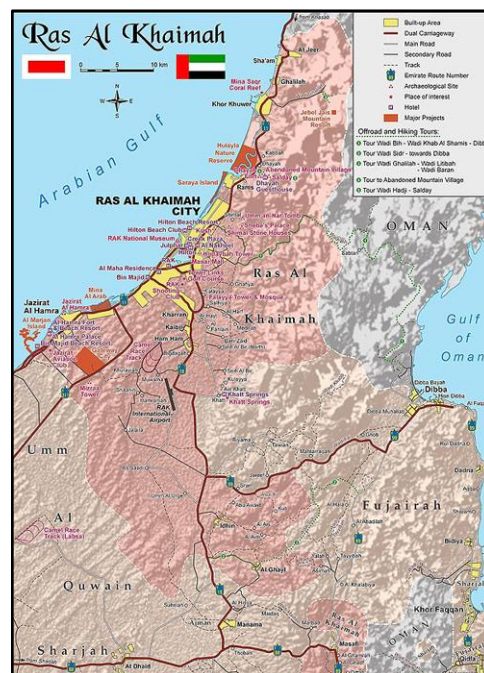


Figura 49 Mappa di Ras Al Khaimah



Figura 51 Rak City. Il lungo mare



Figura 52 Rak City. Il museo storico di Ras Al Khaimah

Testimone storico di Ras Al Khaimah è il forte di Dhayah, situato ad Est della città storica. L'edificio, attualmente a rudere, venne costruito nel XVI secolo in mattoni, sulla collina prospettante il Golfo. Questo forte era in una posizione strategica per la difesa della città. Le storiche torri d'avvistamento vennero distrutte durante una battaglia contro gli inglesi nel 1819.



Figura 53 Il forte di Dhayah

1.6.1 IL CLIMA

L'analisi climatica è la base per un progettazione sostenibile, soprattutto in un clima come quello degli Emirati Arabi. Gli autori Mohsen M. AboulNaga and Y. H. Elsheshtaway, nel loro articolo "*Environmental sustainability assessment of buildings in hot climates: the case of UAE*"[20] evidenziano infatti il dualismo tra l'architettura vernacolare e le costruzioni contemporanee. Queste ultime sono insostenibili, poiché hanno altissimi consumi energetici, e non utilizzano materiali né tecnologie locali. Negli ultimi anni le costruzioni avevano come obbiettivo la dimostrazione di una superiorità economica dello stato, debilitando tutta la tradizione architettonica. Gli autori hanno studiato diversi edifici, sia tradizionali che contemporanei, ed hanno evidenziato il diverso consumo energetico, a parità di funzione. Gli edifici tradizionali consumano circa 55 [kWh/m²], mentre quelli contemporanei consumano circa 268 [kWh/m²]. Come visibile dalla tabella sottostante, nel clima arido degli emirati è importate prestare attenzione alla ventilazione naturale, come elemento chiave per una riduzione dei consumi.

Passive comfort measures	Active comfort measures	Climatic zones			
		Mediterranean	Subtropical	Tropical	Desert
Natural ventilation		6	7	7	7
	Mechanical ventilation	4	5	6	6
Night ventilation		6	7	7	7
	Artificial cooling	3	5	5	6
Evaporative cooling		3	2	2	7
	Free cooling	5	6	6	7
Heavy-weight construction		6	2	2	6
Light-weight construction		3	5	5	4
	Artificial heating	4	0	0	1
Solar heating		6	0	0	0
	Free heating	5	0	0	0
Incidental heat		4	0	0	0
Insulation/permeability		5	0	0	4
Solar control/shading		6	6	6	7
	Daytime artificial lighting	3	3	3	2
Daylighting features		6	5	5	4

^a 0=not important, 4=important, and 7=very important (importance is rated from 0 to 7).

Figura 54 Misure per il risparmio energetico[20]

Ma cosa si intende per architettura sostenibile? Credo che in primo luogo sia un'architettura che viene dal luogo in cui nasce, un'architettura con un particolare riguardo per gli aspetti storici, fisici, economici e sociali. Un'architettura in grado di rispondere al clima, di limitare l'energia grigia nella costruzione, e di utilizzare energia verde nella quotidianità. Come si legge nel terzo articolo della conferenza di Rio de Janeiro (1992): "*The right to development must be fulfilled so as to equitably meet developmental and environmental needs of present and future generations*". Alcuni principi chiave per un approccio sostenibile nascono dalla *green literature*, e riguardano "*land development, buildings design and construction, occupant consideration, life cycle assessment, volunteer*

incentives and marketing programs, facilitate reuse and remodelling, and final disposition of the structure”⁶.

Nella tabella 4 è possibile comprendere le temperature nei diversi mesi dell'anno. Possiamo notare che il mese più caldo è luglio, con massime pari a 46 [°C] ed un minimo di 30 [°C], mentre la temperatura media è pari a 26 [°C]. Le temperature minime sono invece registrate nel mese di gennaio, con la minima di 7 [°C], ed una temperatura media di 18 [°C].

Tabella 4 Ras Al Khaimah. Temperature [°C] annuali. I dati sono stati trasmessi in maniera confidenziale da Dr. Franco Vigliotti, rettore della facoltà EPFL Middle Est.

Temperature [°C]						
Mese	Media giorn.	Media giornaliera massima	Media giornaliera minima	Temp max	Temp min	Differenza di temp max
Gennaio	18.42	24.86	12.02	29.56	7.39	12.84
Febbraio	20.60	27.71	13.85	33.99	9.01	13.86
Marzo	23.85	31.49	16.55	37.69	11.99	14.94
Aprile	28.07	36.26	20.31	41.82	15.75	15.95
Maggio	32.80	41.50	24.53	45.61	20.87	16.97
Giugno	34.80	42.97	27.27	46.94	24.10	15.70
Luglio	36.37	43.18	30.20	46.72	26.73	12.98
Agosto	36.04	43.00	29.50	46.42	26.34	13.50
Settembr e	33.27	40.92	26.26	44.29	22.41	14.67
Ottobre	29.60	37.40	22.19	40.97	18.06	15.21
Novembr e	24.88	32.42	17.71	36.80	13.53	14.71
Dicembre	20.77	27.40	14.48	31.39	9.80	12.92

⁶ M. M. AboulNaga, Y. H. Elsheshtawy, *Environmental sustainability assessment of buildings in hot climates: the case of UAE*, in “Renewable Energy”, 2001, n.24, p 556

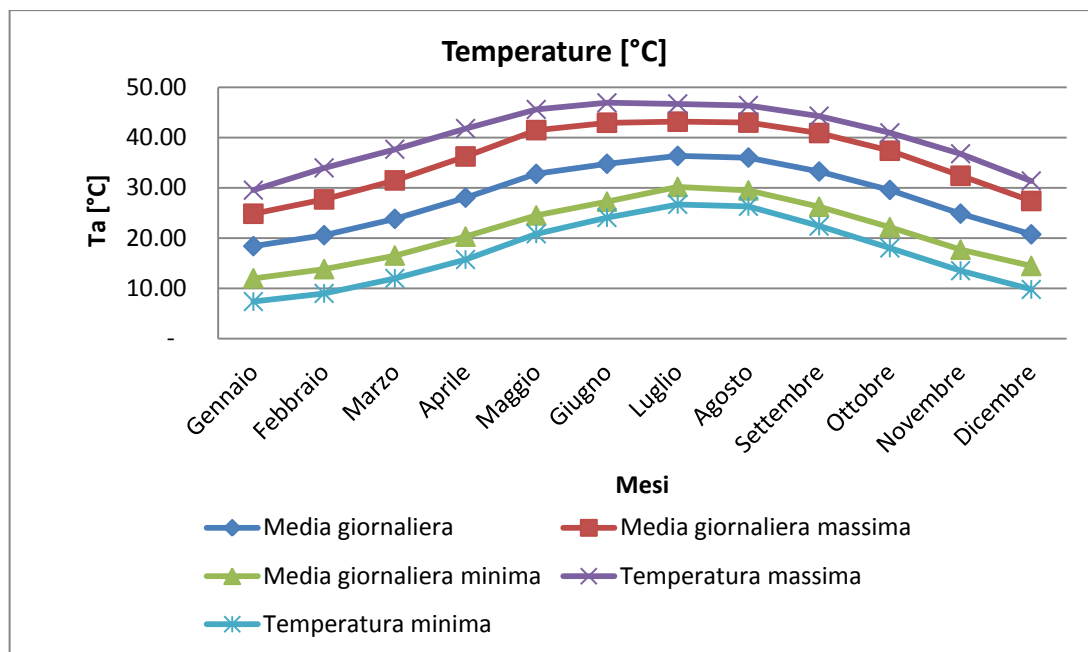


Figura 55 Ras Al Khaimah. Temperature [°C] annuali. I dati sono stati trasmessi in maniera confidenziale da Dr. Franco Vigliotti, rettore della facoltà EPFL Middle Est, e rielaborati su excel

L'umidità relativa è un parametro fondamentale per comprendere le condizioni termigrometriche del luogo. Come visibile dalla tabelle sottostante, l'umidità è minima nel mese di maggio, 44 [%], e massima nel mese di gennaio, 73 [%]. Si può quindi affermare che essa sia massima nel periodo invernale, e minima in quello estivo, per cui non incide in maniera negativa nel confort estivo. Infatti l'umidità relativa è confortabile se compresa tra il 35 e 65 [%].

Tabella 5 Ras Al Khaimah. Umidità relativa [%] annuale. I dati sono stati trasmessi in maniera confidenziale da Dr. Franco Vigliotti, rettore della facoltà EPFL Middle Est.

Umidità relativa			
Mese	Media giornaliera	Media giornaliera massima	Media giornaliera minima
Gennaio	73.20	97.20	26.20
Febbraio	68.60	98.20	18.80
Marzo	63.30	98.80	13.00
Aprile	52.40	94.50	9.90
Maggio	44.70	90.70	11.00
Giugno	52.20	91.70	11.80
Luglio	53.20	89.70	13.90
Agosto	52.00	90.40	14.00
Settembre	57.89	96.44	14.89
Ottobre	61.67	98.33	14.11
Novembre	63.33	96.22	19.67
Dicembre	69.67	96.89	29.44

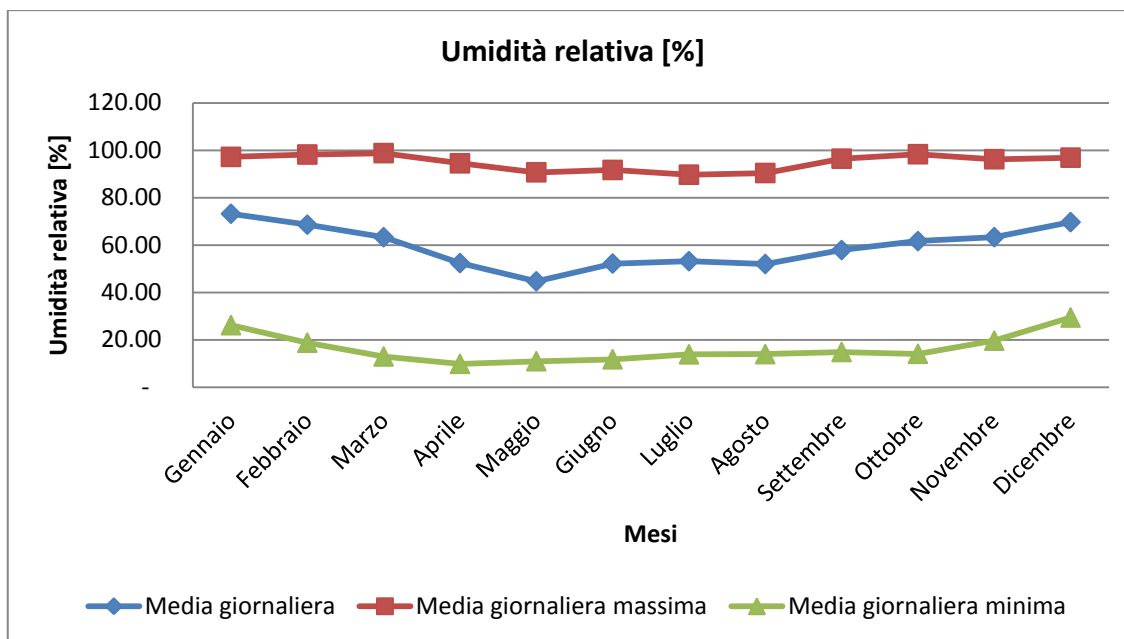


Figura 56 Ras Al Khaimah. Umidità relativa [%]. I dati sono stati trasmessi in maniera confidenziale da Dr. Franco Vigliotti, rettore della facoltà EPFL Middle Est, e rielaborati su excel

Tabella 6 Umidità relativa. Zona di confort.

Umidità relativa[%]	Percezione
0	Aria disidratata
10	Aria molto secca
25-35	Aria secca
35-65	Zona di confort
65-75	Aria umida
>75	Aria molto umida
100	Aria satura

Nella tabella 7 sono invece raccolti i dati riguardo alle precipitazioni, che risultano particolarmente ridotte, ed assenti nel periodo compreso tra maggio ed ottobre.

Tabella 7 Ras Al Khaimah. Precipitazioni [mm] annuali. I dati sono stati trasmessi in maniera confidenziale da Dr. Franco Vigliotti, rettore della facoltà EPFL Middle Est.

Mesi	Pioggia [mm]	
	Total	Max in 24 hrs
Gennaio	26.26	15.28
Febbraio	10.67	8.63
Marzo	18.04	10.32
Aprile	8.06	6.39
Mai	-	-
Giugno	-	-
Luglio	-	-
Agosto	-	-
Settembre	0.76	-
Ottobre	85.33	0.64
Novembre	2.54	2.12
Dicembre	25.03	15.21

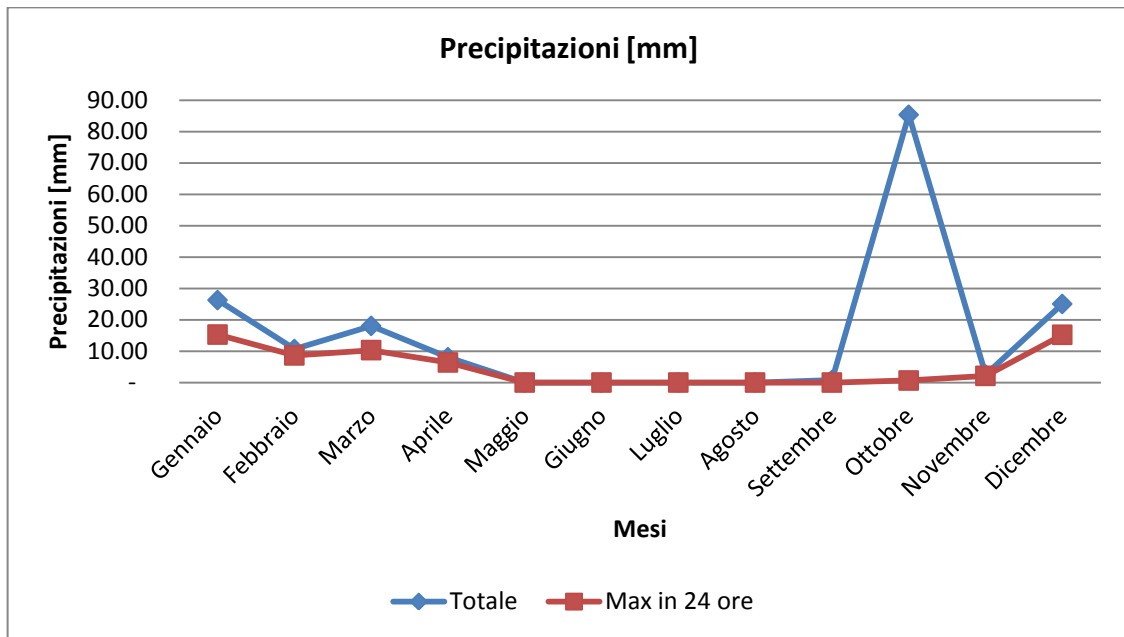


Figura 57 Ras Al Khaimah. Precipitazioni [mm] annuali. I dati sono stati trasmessi in maniera confidenziale da Dr. Franco Vigliotti, rettore della facoltà EPFL Middle Est, e rielaborati su excel

1.6.2 ANALISI DEL VENTO

Reputo indispensabile dedicare un intero paragrafo all'analisi del vento, poiché è l'elemento fondamentale per garantire una ventilazione naturale corretta. In primis è importante sottolineare che nell'area insistono due venti principali: la brezza marina, proveniente da Nord Ovest, con una velocità media pari a 2.50 [m/s], ed il vento da Sud, con una velocità pari a 4.70 [m/s].

Tabella 8 Ras Al Khaimah. Velocità del vento [m/s] e frequenza massima. I dati sono stati calcolati per mezzo del software Meteonorm

Mesi	Velocità del vento max [m/s]		Frequenza max	
	Velocità del vento [m/s]	Direzione [°]	Velocità del vento [m/s]	Direzione [°]
Gennaio	2.59	NW	1.21	W
Febbraio	2.48	W	2.04	NW
Marzo	2.72	SE	2.23	W
Aprile	2.39	NE SW	2.31	NW
Maggio	3.01	SE	2.27	NW
Giugno	2.73	W	2.39	NW
Luglio	3.11	W	2.76	N
Agosto	4.57	S	2.31	NW
Settembre	2.49	NW	2.19	N
Ottobre	2.12	S	1.93	NW
Novembre	2.19	NE	1.88	NW
Dicembre	1.92	N	1.75	NW

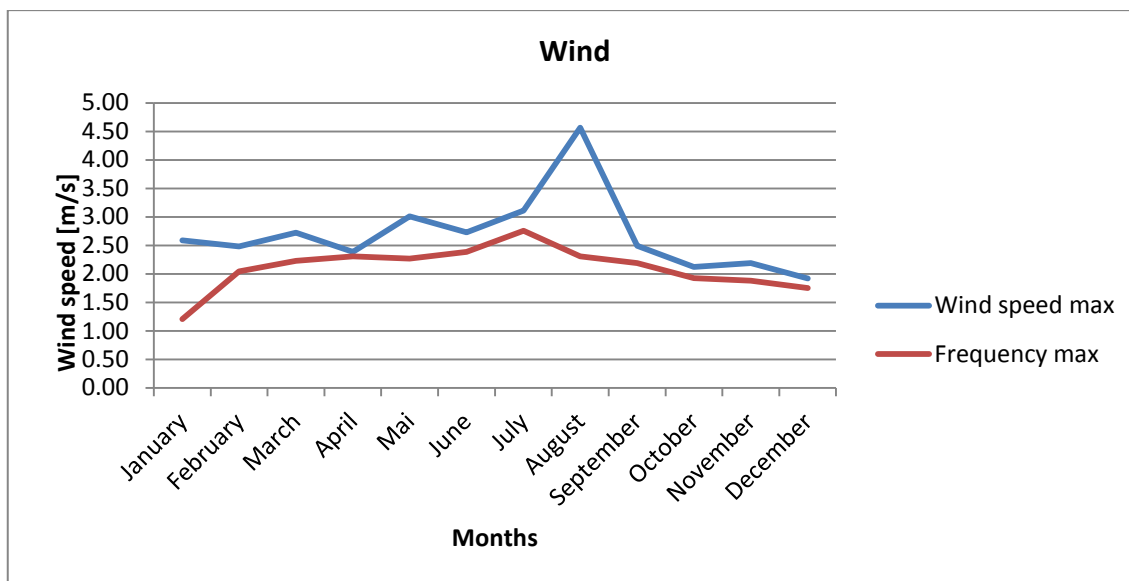


Figura 58 Ras Al Khaimah. Velocità del vento [m/s] e frequenza massima. I dati sono stati calcolati per mezzo del software Meteonorm e rielaborati su excel

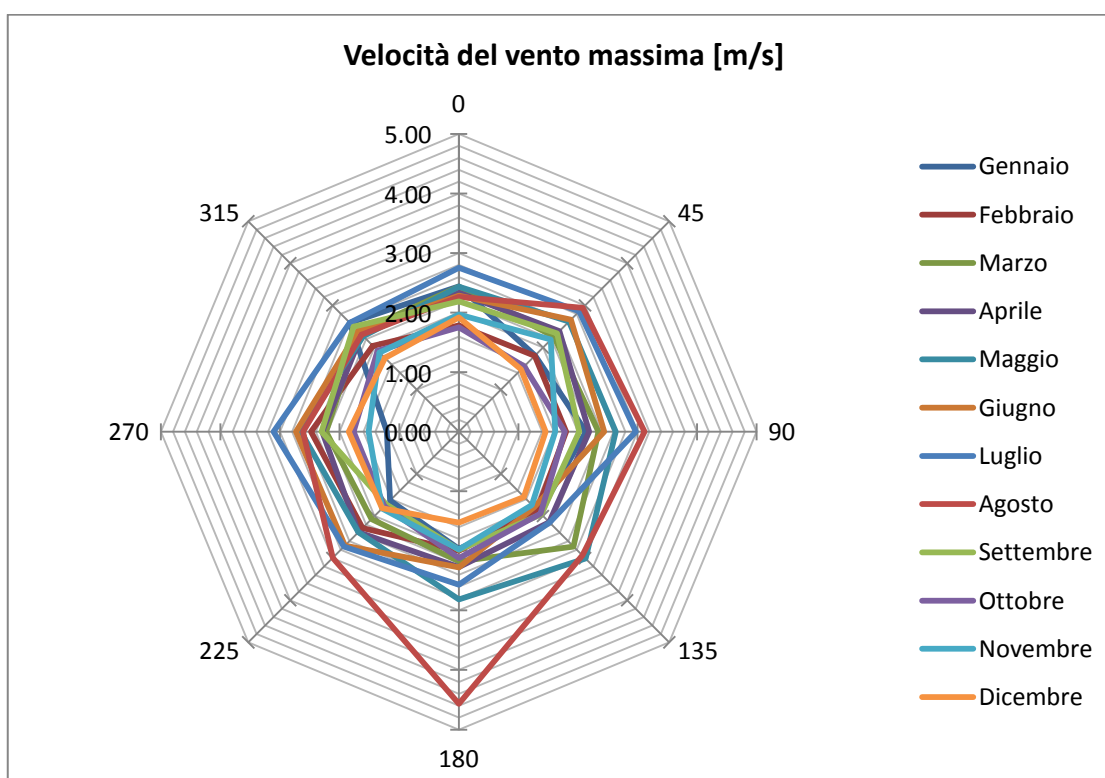


Figura 59 Ras Al Khaimah. Rosa del vento, con l'indicazione della velocità del vento [m/s] e la sua direzione. I dati sono stati calcolati per mezzo del software Meteonorm e rielaborati su excel

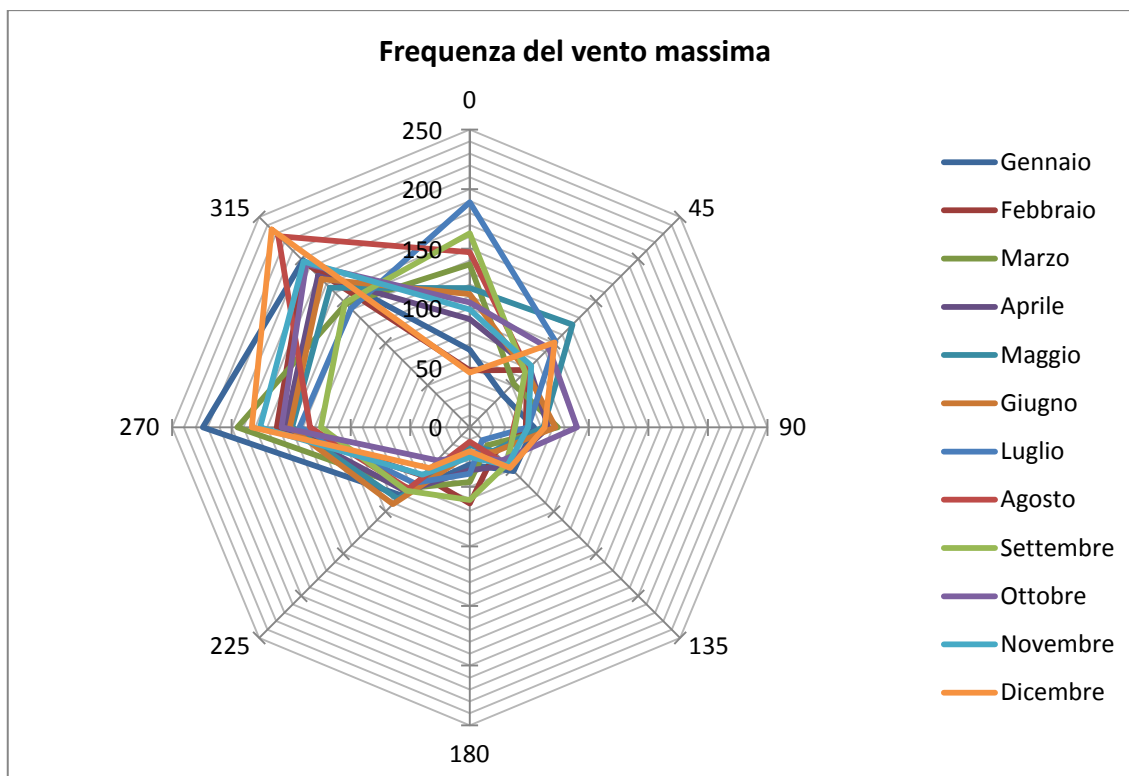


Figura 60 Ras Al Khaimah. Rosa del vento, con l'indicazione della frequenza del vento, e la sua direzione. I dati sono stati calcolati per mezzo del software Meteonorm e rielaborati su excel

Il problema fondamentale nella ventilazione degli edifici è nella frequenza del vento: come visibile dalla tabella 9, il vento è massimo durante le ore diurne, e minimo durante la notte. Il problema è legato alle temperature, per le quali è consigliabile tener aperte le finestre solo durante la notte. Possiamo concludere che la velocità del vento media annuale, è pari a 1.59 [m/s] dalle 0.00 alle 08.00, pari a 2.78 [m/s] dalle 8.00 alle 18.00 e pari a 1.97 [m/s] dalle 18.00 alle 0.00.

Tabella 9 Ras Al Khaimah. Velocità del vento durante le differenti ore del giorno, media annuale. I dati sono stati calcolati per mezzo del software Meteonorm e rielaborati su excel

Parte della giornata	Velocità del vento [m/s]
Notte- primo mattino [0.00- 08.00 h]	1.59
Giorno [8.00- 18.00 h]	2.78
Sera- notte [18.00- 0.00]	1.97

Concludendo possiamo affermare che il vento da Nord Ovest è una brezza marina, massima durante la prima parte della giornata, con una velocità media pari a 2.78 [m/s], ed una velocità massima nel mese di giugno, pari a 2.39 [m/s]. Questa brezza rientra nel livello 2 della scala Beaufort, ed è classificata come una brezza leggera. Il vento da Sud, nel mese di Agosto, con una velocità pari a 4.70 [m/s], è classificato come una brezza

media. In entrambi i casi quindi non abbiamo un vento che crei disagio per chi si trova esternamente agli edifici.

Numero di Beaufort	Termine Descrittivo	Velocità del Vento		Effetti Visibili
		(km/h)	(m/s)	
0	Calma	0	0	Il fumo sale verticalmente.
1	Bava di vento	1-6	0.3-1.5	Movimento del vento visibile dal fumo.
2	Brezza leggera	7-11	1.6-3.4	Si sente il vento sulla pelle nuda. Le foglie frusciano.
3	Brezza tesa	12-19	3.4-5.4	Foglie e rami più piccoli in movimento costante.
4	Vento moderato	20-29	5.5-7.9	Sollevamento di polvere e carta. I rami sono agitati.
5	Vento teso	30-39	8.0-10.7	Oscillano gli arbusti con foglie. Si formano piccole onde nelle acque interne.
6	Vento fresco	40-50	10.8-13.8	Movimento di grossi rami. Difficoltà ad usare l'ombrello.
7	Vento forte	51-62	13.9-17.1	Interi alberi agitati. Difficoltà a camminare contro vento.
8	Burrasca	63-75	17.2-20.7	Ramoscelli strappati dagli alberi. Generalmente è impossibile camminare contro vento.
9	Burrasca forte	76-87	20.8-24.4	Leggeri danni alle strutture, camini e tegole asportati.
10	Tempesta	88-102	24.5-28.3	Sradicamento alberi e consistenti danni alle strutture
11	Fortunale	103-117	28.4-32.5	Vasti danni alle strutture
12	Uragano	>118	>32.6	Danni ingenti ed estesi alle strutture

Figura 61 Scala Beaufort

1.7 CONCLUSIONI

In questo primo capitolo sono stati affrontati i principali elementi per un'analisi e progettazione bioclimatica:

- Sono stati studiati i libri scientifici di Baruch Givoni sul tema, e gli articoli pubblicati dalle principali testate, come "Energy and Buildings", riguardo alla città araba ed alla progettazione in clima desertico.
- È stata analizzata l'architettura tradizionale araba, come archetipo bioclimatico, e gli attuali progetti ecosostenibili negli Emirati Arabi, come Masdar e KAUST.
- Sono stati revisionati i dati climatici dell'area, evidenziando i punti di debolezza, e le risorse.

Successivamente sono stati definiti i parametri per una progettazione sostenibile, dalla scala urbana all'architettonica. Il tessuto urbano dev' essere compatto, come nell'antica Medina, per ridurre le superfici esterne massimizzando quelle interne. Inoltre gli edifici devono essere costruiti con materiali ad alta inerzia termica, come il mattone, e devono essere isolati esternamente.

La tipologia edilizia dell'architettura tradizionale araba è la casa a corte, in un tessuto urbano continuo. Le torri del vento sono l'archetipo bioclimatico essenziale per garantire una corretta ventilazione naturale degli edifici e delle corti. Infine le masherabiya sono l'archetipo della protezione solare degli ambienti interni.

L'area di Ras Al Khaimah presenta un clima arido- secco, con un ridotto numero di precipitazioni. La direzione prevalente del vento è la brezza marina da Nord- Ovest, che risulterà indispensabile per una corretta ventilazione degli edifici. Gli edifici dovranno essere protetti dalla radiazione solare, ma essa risulterà molto utile per la produzione di energia elettrica grazie all' impianto fotovoltaico. Il principale problema dell'area è la scarsità d'acqua, per cui risulta molto importante trovare altre fonti oltre alle falde acquifere ed alla desalinizzazione.

2.0 CITYSIM

Questo capitolo è dedicato alle prime simulazioni effettuate con il software CitySim, riguardo agli standard Minergie negli Emirati Arabi Uniti. CitySim è un software di modellazione urbana, sviluppato dal Dr Jerome Kaempf all'interno del laboratorio LESO, presso l'EPFL di Losanna. Grazie a questo programma, in fase di sviluppo, è possibile definire il fabbisogno energetico degli edifici in differenti scale: in primis a scala urbana, in base alla loro orientazione, forma e geometria. L'elemento chiave in questo software è proprio il rapporto tra gli edifici, i quali non vengono considerati come singole entità, come accade nella maggior parte dei programmi di simulazione, ma vengono letti grazie alle loro interrelazioni. La seconda scala di analisi riguarda l'edificio stesso, che viene studiato in base alla superficie vetrata, ed alla tipologia dei vetri, alla trasmittanza delle superfici esterne. La terza scala riguarda le fonti energetiche utilizzate, ovvero la tipologia dei pannelli fotovoltaici e la superficie, le fonti di raffrescamento e riscaldamento, la temperatura interna e le infiltrazioni dell'aria. La quarta scala riguarda la presenza delle persone e delle attrezzature elettriche, in base al numero totale di occupanti, ed anche la loro presenza nelle diverse ore dei giorni della settimana.

CitySim permette di definire il consumo di ogni singolo edificio, ma anche la radiazione solare incidente, che viene visualizzata dall'interfaccia grafica, e permette di individuare per ogni superficie di ogni piano, la radiazione solare.

Alcuni parametri del software, sotto elencati, possono essere utili per capire come funziona, e come sono state fatte le simulazioni. Prima di tutto è importante sottolineare che CitySim dota ogni apertura di uno schermo, che viene chiuso automaticamente quando la radiazione solare supera $150 \text{ [kW/m}^2\text{]}$. Inoltre l'apertura e chiusura delle finestre è definita secondo il rapporto tra la temperatura esterna e quella interna: le finestre vengono aperte se:

$T_a - T_e > 1 \text{ [}^\circ\text{C]}$

$T_a > T_e + 1^\circ\text{C}$

Dove

T_a : temperatura degli ambienti interni $[\text{}^\circ\text{C}]$

T_e : temperatura esterna $[\text{}^\circ\text{C}]$

2.01 STANDARD MINERGIE IN SVIZZERA

Lo standard Minergie è un certificato energetico in cui rientrano gli edifici con buone prestazioni energetiche e che utilizzano energie rinnovabili; in Svizzera tutti gli edifici realizzati dopo il 2003 rientrano nella classe Minergie. Nella tabella sottostante sono elencati i bisogni energetici massimi per ogni classe di edificio. Ad esempio le abitazioni possono avere un consumo massimo pari a $38 \text{ [kWh/m}^2\text{]}$, mentre gli uffici posso

consumare fino a 40 [kWh/m²] per la produzione di acqua calda sanitaria, riscaldamento e raffrescamento.

Vi sono inoltre i seguenti requisiti da rispettare:

- Requisito primario riguardante l'involucro dell'edificio.
- Un cambio dell'aria controllato per tutto l'anno.
- Valore limite MINERGIE® (parametro energetico pesato).
- Verifica del comfort termico estivo.
- Requisiti supplementari, riguardanti, a seconda della categoria di edificio, illuminazione, impianti frigoriferi industriali e produzione di calore.
- Limitazione dei costi aggiuntivi fino a un massimo del 10%, rispetto agli edifici convenzionali confrontabili. [21]

Un edificio Minergie deve rispettare i limiti nel fabbisogno energetico, come definito nella tabella 10. Il tema chiave nella progettazione Minergie è il considerare l'edificio come un sistema integrato, in cui le diverse tecniche concorrono al fabbisogno totale. Vi sono alcuni requisiti definiti supplementari, che riguardano l'illuminazione, l'acqua calda, gli impianti frigoriferi industriali ed il processo di ottimizzazione del bagno. La descrizione di questi requisiti è tratta dal sito Minergie [21].

- **Illuminazione** secondo la norma SIA 380/04, cioè il consumo di elettricità è superiore al valore obiettivo al massimo del 25 % della differenza tra valore limite e valore obiettivo.
- **Acqua calda:** il 20 % del fabbisogno energetico per l'acqua calda viene coperto da energia rinnovabile.
- **Impianti frigoriferi industriali:** occorre sempre dimostrare l'utilizzazione del calore residuo (UCR).
- **Processo ottimizzato del bagno:** Le piscine coperte devono presentare un «processo del bagno ottimizzato», cioè recupero di calore (RC) con pompe di calore nell'impianto di aerazione e recupero di calore dall'acqua del bagno (sostituzione con acqua fresca). Verifica con calcolo eseguito da uno specialista, progetto energetico e schema di principio.

Vi sono diverse tipologie Minergie: “Minergie” edifici a basso consumo energetico, “Minergie P” edifici a bassissimo consumo energetico, “Minergie A” edifici “Plusenergiehaus”. I dati di riferimento sono visibili nella figura 62.

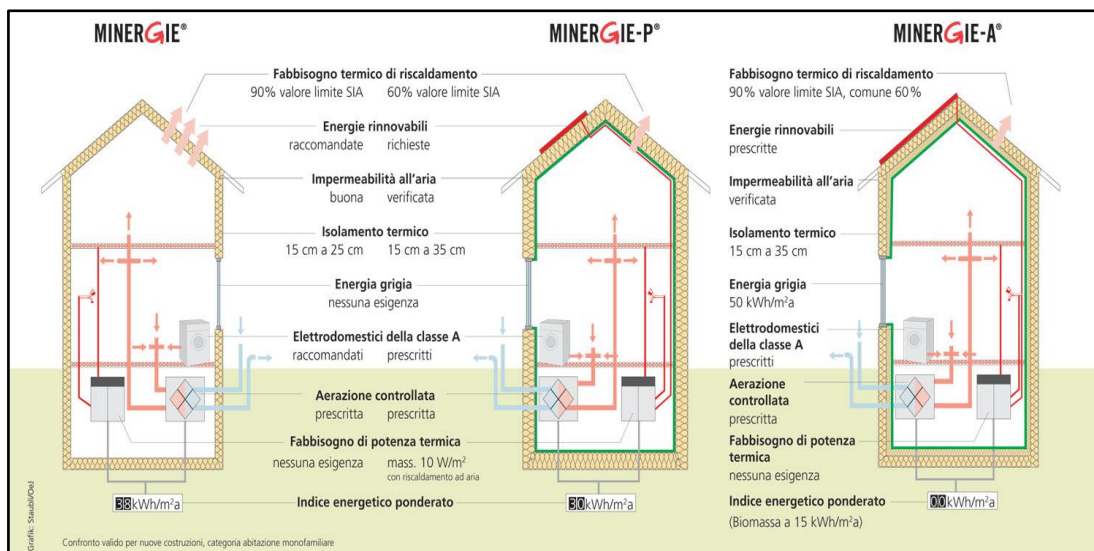


Figura 62 Le diverse tipologie Minergie, Minergie P e Minergie A

Tabella 10 Standard Minergie

Requisiti MINERGIE® (Norma SIA 380/1:2009)					
Requisiti per nuove costruzioni					
	Categoria	Parametro energetico pesato	Requisito primario	Impianto di aerazione	Requisiti supplementari
I	Abitazioni multifamiliari	38 kWh/m ² RH, WW, elettr. aerazione, *	$Q_n \leq 90\% Q_{n,li}$	presupposto	Nessun requisito consiglio per gli elettrodomestici: etichetta energetica classe A
II	Abitazioni monofamiliari	38 kWh/m ² RH, WW, elettr. aerazione, *	$Q_n \leq 90\% Q_{n,li}$	presupposto	Nessun requisito consiglio per gli elettrodomestici: etichetta energetica classe A
III	Amministrazione	40 kWh/m ² RH, WW, elettr. aerazione, *	$Q_n \leq 90\% Q_{n,li}$	presupposto	Illuminazione secondo SIA 380/4
IV	Scuole	40 kWh/m ² RH, WW, elettr. aerazione, *	$Q_n \leq 90\% Q_{n,li}$	presupposto	Illuminazione secondo SIA 380/4
V	Vendita	40 kWh/m ² RH, WW, elettr. aerazione, *	$Q_n \leq 90\% Q_{n,li}$	presupposto	Illuminazione secondo SIA 380/4 impianti frigoriferi industriali
VI	Ristoranti	45 kWh/m ² RH, elettr. aerazione, *	$Q_n \leq 90\% Q_{n,li}$	presupposto	Illuminazione secondo SIA 380/4 EC: 20% del fabbisogno con energia rinnovabile
VII	Locali per riunioni	40 kWh/m ² RH, WW, elettr. aerazione, *	$Q_n \leq 90\% Q_{n,li}$	presupposto	Illuminazione secondo SIA 380/4
VIII	Ospedali	70 kWh/m ² RH, WW, elettr. aerazione, *	$Q_n \leq 90\% Q_{n,li}$	presupposto	Illuminazione secondo SIA 380/4, impianti frigoriferi industriali
X	Industria	20 kWh/m ² RH, WW, (elettr. aerazione), *	$Q_n \leq 90\% Q_{n,li}$	raccomandato	Illuminazione secondo SIA 380/4
X	Magazzino	20 kWh/m ² RH, WW, (elettr. aerazione), *	$Q_n \leq 90\% Q_{n,li}$	raccomandato	Illuminazione secondo SIA 380/4
XI	Impianti sportivi	25 kWh/m ² RH, elettr. aerazione, *	$Q_n \leq 90\% Q_{n,li}$	presupposto	Illuminazione secondo SIA 380/4 EC: 20% del fabbisogno con energia rinnovabile
XII	Piscine	Nessun valore limite MINERGIE®	$Q_n \leq 60\% Q_{n,li}$	presupposto	Illuminazione secondo SIA 380/4 EC: 20% del fabbisogno con energia rinnovabile processo di bagno ottimizzato

In MINERGIE® vi sono valori limite a seconda della categoria dell'edificio:
 RH = riscaldamento ambiente
 WW = acqua calda
 Elettr. aerazione = elettricità per aerazione automatica
 (Elettr. aerazione.) = l'impianto di aerazione non è presupposto per questa categoria di edifici ma solo consigliato.
 Il valore limite MINERGIE® resta uguale, con o senza impianto di aerazione.
 * = Nel valore limite MINERGIE® è compreso anche il consumo energetico per un'eventuale climatizzazione dell'ambiente (raffreddamento, umidificazione e deumidificazione).

2.02 STANDARD MINERGIE NEGLI EMIRATI ARABI UNITI

La prima parte della analisi con il software CitySim ha riguardato lo studio di un edificio per uffici ed un'abitazione siti a Ras Al Khaimah. Le analisi sono state effettuate da Maria Papadopoulou ed Aabid Fouad, due studenti svizzeri che hanno collaborato con il laboratorio LESO dell'EPFL. Essi hanno studiato gli edifici con il software EnergyPlus, ed i valori da loro ottenuti sono stati confrontati con i risultati di CitySim, evidenziando la correttezza del Software, e la sua precisione.

Lo studio svolto da Maria Papadopoulou ed Aabid Fouad ha permesso di definire gli Standard Minergie per gli Emirati Arabi, come definiti nella tabella sottostante.

Tabella 11 Standard Minergie negli Emirati Arabi Uniti

Parametri	Minergie	Unità
Valore U copertura	0.2	[W/m ² K]
Valore U muri	0.2	[W/m ² K]
Valore U finestre	1.0	[W/m ² K]
Valore G finestre	0.5	[-]
Fattore di ombreggiamento	0.8	[-]
Infiltrazioni dell'aria	0.05	[orarie]
EER condizionatore	4	[-]

2.1 ANALISI DI UN EDIFICIO PER UFFICI A RAS AL KHAIMAH

Maria Papadopoulou ha studiato la pianta tipo dell'edificio A, composto dagli uffici lungo il perimetro esterno, ed i servizi, ascensori e vani scala nell'interno. Tutti i dati relativi alle dimensioni provengono dai dati originali di progetto.

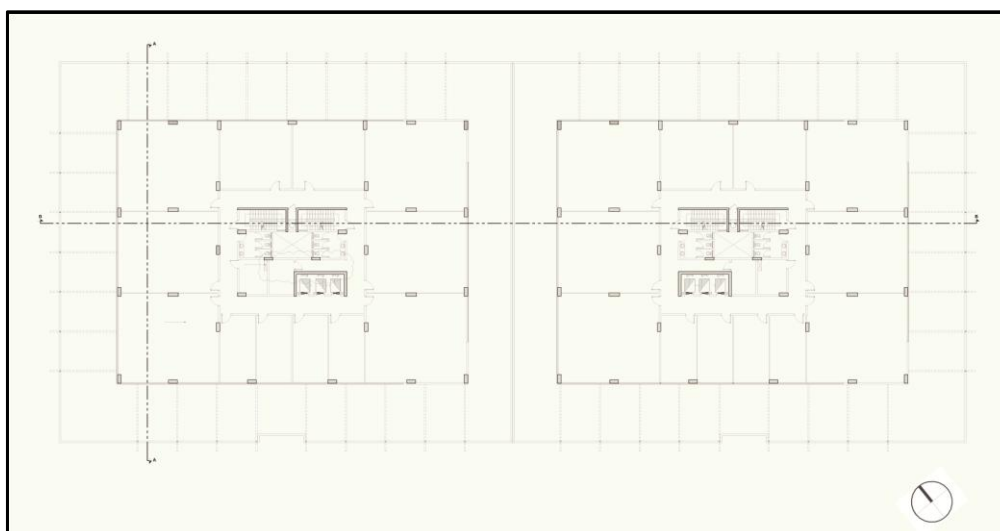


Figura 63 Pianta dell'edificio per uffici sito a Ras Al Khaimah

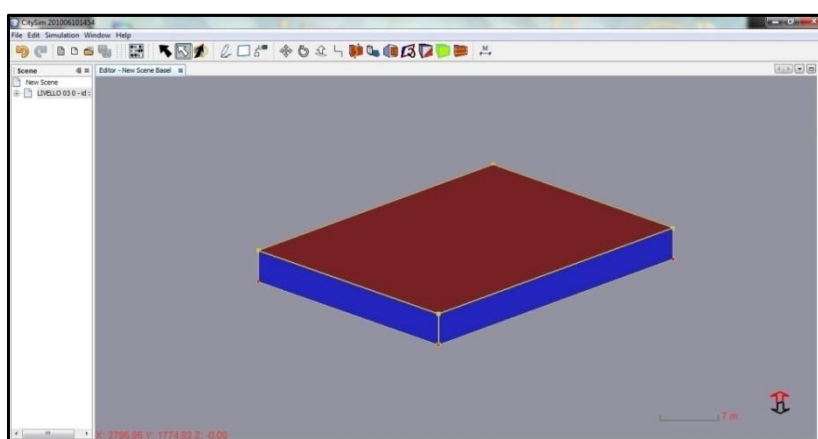


Figura 64 Edificio per uffici. Modello CitySim

2.1.1 DATI METEO

Latitudine [°] : 25.6801 Nord

Longitudine [°]: 55.7827 Est

Altitudine [slm]: 31

I dati climatici sono stati creati con l'ausilio del programma Meteonorm, utilizzando l'interpolazione tra la stazione meteo dell'aeroporto di Ras Al Khaimah ed altre due stazioni. Nelle tabelle sottostanti sono stati inseriti a confronto i dati climatici ottenuti dal programma Meteonorm ed i dati del Dr Vigliotti.

Tabella 12 Edificio per uffici. Temperature medie mensili [°C]

Media giornaliera [°C]			
	Meteonorm	Vigliotti	Differenza
Gennaio	18.96	18.42	0.54
Febbraio	20.32	20.60	-0.28
Marzo	23.38	23.85	-0.47
Aprile	27.27	28.07	-0.80
Maggio	32.25	32.80	-0.55
Giugno	34.17	34.80	-0.63
Luglio	36.25	36.37	-0.12
Agosto	35.76	36.04	-0.28
Settembre	32.69	33.27	-0.58
Ottobre	29.39	29.60	-0.21
Novembre	24.41	24.88	-0.47
Dicembre	20.95	20.77	0.18

Tabella 13 Edificio per uffici. Velocità del vento media mensile [m/s]

FF Velocità del vento [m/s]			
	Meteonorm	Vigliotti	Differenza
Gennaio	1.99	2.04	-0.05
Febbraio	2.20	2.27	-0.07
Marzo	2.40	2.37	0.03
Aprile	2.41	2.51	-0.11
Maggio	2.60	2.72	-0.12
Giugno	2.60	2.72	-0.12
Luglio	2.80	3.00	-0.20
Agosto	2.60	2.85	-0.26
Settembre	2.20	2.30	-0.10
Ottobre	1.89	1.92	-0.03
Novembre	1.90	1.88	0.03
Dicembre	1.80	1.92	-0.12

Tabella 14 Edificio per uffici. Direzione del vento [°]

DD Direzione del vento[°]			
	Meteonorm	Vigliotti	Differenza
Gennaio	238.87	218.00	20.87
Febbraio	232.32	223.00	9.32
Marzo	203.71	224.00	-20.29
Aprile	212.95	250.00	-37.05
Maggio	195.12	257.00	-61.88
Giugno	208.01	221.00	-12.99
Luglio	179.76	168.00	11.76
Agosto	209.19	178.00	31.19
Settembre	189.23	200.00	-10.77
Ottobre	203.54	204.00	-0.46
Novembre	217.06	222.00	-4.94
Dicembre	229.21	198.00	31.21

Tabella 15 Edificio per uffici. Umidità relativa [%]

RH Umidità relativa[%]			
	Meteonorm	Vigliotti	Differenza
Gennaio	69.41	73.20	-3.79
Febbraio	69.68	68.60	1.08
Marzo	59.93	63.30	-3.37
Aprile	49.61	52.40	-2.79
Maggio	41.22	44.70	-3.48
Giugno	47.42	52.20	-4.78
Luglio	47.38	53.20	-5.82
Agosto	49.67	52.00	-2.33
Settembre	57.31	57.89	-0.57
Ottobre	59.26	61.67	-2.41
Novembre	63.39	63.33	0.06
Dicembre	67.08	69.67	-2.58

Tabella 16 Edificio per uffici. Alba e tramonto

Mese	Giorno	Alba	Tramonto
Gennaio	15	7.43	18.26
Febbraio	15	7.31	18.49
Marzo	15	7.06	19.05
Aprile	15	6.33	19.19
Maggio	15	6.10	19.34
Giugno	15	6.04	19.48
Luglio	15	6.14	19.49
Agosto	15	6.29	19.31
Settembre	15	6.41	19.00
Ottobre	15	6.54	18.28
Novembre	15	7.14	18.08
Dicembre	15	7.35	18.08

2.1.2 PARAMETRI DI PROGETTO

Area: 1,196.00 [m²]

Area netta per lavoratore: 71.00 [m²]

Orientazione: 49 [°] Nord- Ovest

2.1.3 CASO STUDIO A: EDIFICIO ESISTENTE

PROPRIETÀ DELL'EDIFICIO

Volume [m³]: 4,688.74

Infiltrazioni d'aria [orarie]: 0.00

Il valore delle infiltrazioni non è fisicamente corretto, poiché gli edifici esistenti hanno solitamente un valore pari a 0.70, e gli edifici Minergie pari a 0.1. Il dato 0.00 è stato tratto dallo studio di Maria Papadopoulou ed utilizzato in questa simulazione per valutare la correttezza del programma CitySim.

	existing	MINERGIE	
1. U-Value roof	1.3	0.2	W/m ² K
2. U-values walls	1.7	0.2	W/m ² K
3. U-value windows:	1.95	1.0	W/m ² K
4. g-value windows:	0.46	0.5	
shading factor (ME with mobile shades between glass panes)	0	0.8	
5. air infiltration through cracks, open windows	0	0.05	/h
hereof exhaust ventilation from toilets	0.1	-	/h
air exchange by HRV/ERV (ME: 35m ³ /h/P, 20m ² /P, 60h/week):	6.23	0.61	m ³ /m ² h
(existing: 60h/week at full load = 34% of 8760 h/a)			
efficiency of heat recovery:	0	0.85	
efficiency of enthalpy recovery:	0	0.6	
electricity use for ventilation (exist: =1.6kWh/m ² a x 6.2/0.61/1.5)	11	1.6	kWh/m ² a
6. electricity use for lights, appliances, elevators (see app. 2):		27	kWh/m ² a
- existing: Lights 12W/m ² x 1500h/a + 15W/m ² x 4000h/a	78		kWh/m ² a
- ME-office rooms (80%) (=18 (light)+4 (appl.) +8 (elev))		30	kWh/m ² a
- ME-technical rooms, restrooms (9%) (=8 (lights)+8 (elev))		16	kWh/m ² a
- ME-staircase, hallway (11%) (=2 (lights)+8 (elev))		10	kWh/m ² a
7. domestic hot water, MINERGIE 0.1 m ³ /m ² a, 60°C	15	5	kWh/m ² a
8. EER of cooling machine	2.5	4	

Figura 65 Parametri utilizzati nella simulazione di Papadopoulou [22]

Tmin [°C]: 5

Temperatura al di sotto della quale viene acceso l'impianto di riscaldamento

Tmax [°C]: 23

Temperatura al di sopra della quale viene acceso l'impianto di raffrescamento

Profilo della temperatura in base agli occupanti: nessuno

Numero massimo di occupanti: 17

$$1,196.00/71 = 16.84$$

Profilo di occupazione

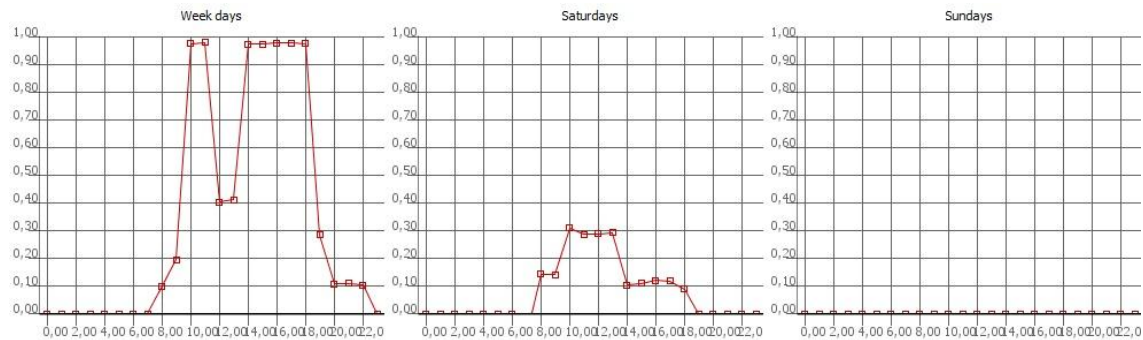


Figura 66 Edificio per uffici. Profilo di occupazione

REGOLAZIONE TERMICA DELL'EDIFICIO

HVAC: no HVAC

Inizio riscaldamento [giorno]: 1

Fine riscaldamento [giorno]: 365

Fonte di raffrescamento: pompa di calore

Inizio raffrescamento [giorno]: 1

Fine raffrescamento [giorno]: 365

POMPA DI CALORE

La pompa di calore è una macchina in grado di trasferire calore da un ambiente a temperatura più bassa ad un altro a temperatura più alta. Essa opera con lo stesso principio del frigorifero e del condizionatore d'aria. Essa è costituita da un circuito chiuso, percorso da un fluido frigorigeno che, a seconda delle condizioni di temperatura e di pressione in cui si trova, assume lo stato di liquido o di vapore. Il circuito chiuso è costituito da: un compressore, un condensatore, una valvola di espansione ed un evaporatore. Informazioni tratte dal sito ENEA.

Potenza massima [W]: 372,100.00

COP: 2.5

COP è il Coefficiente di Prestazione, ovvero il rapporto tra energia fornita (calore ceduto al mezzo da riscaldare) ed energia elettrica consumata. Il COP è variabile a seconda del tipo di pompa di calore e delle condizioni di funzionamento ed ha, in genere, valori prossimi a 3. Informazioni tratte dal sito ENEA.

η_{tech} : 0.13

$$\eta_{tech} = COP / \eta_{carnot}$$

$\eta_{\text{carnot}}: T_i / [T_i - T_e]$

$$\eta_{\text{carnot}} = \frac{(13+273.15)}{((13+273.15)-(28+273.15))}$$

$$\eta_{\text{carnot}} = 19.08$$

$$\eta_{\text{tech}} = \frac{2.5}{19.08}$$

T_i : temperatura interna – ΔT

In questo caso 22 [°C] in inverno e 24 [°C] in estate, quindi un valore medio pari a 23[°C]

T_e [°C]: temperature esterna, in questo caso 28 [°C] come valore medio annuale

$$\Delta T = 10[^\circ\text{C}]$$

Sorgente: aria

PROPRIETÀ TERMICHE DEI MURI

Short wave reflectance: 0.20

Percentuale di superficie vetrata [%]: 0.44

La percentuale non include il telaio, ma solo la superficie vetrata netta. In questo caso la superficie totale dei serramenti è pari al 55 [%] della facciata, ma la superficie vetrata è pari all' 80 [%].

Valore G del vetro : 0.46

Il valore G è il coefficiente di trasmissione dell'energia totale ed indica la percentuale di energia solare che penetra nel locale attraverso il vetro.

Trasmittanza termica serramento U [W/m²K]: 1.95

La trasmittanza termica U [W/m²K]: è il flusso di calore medio che passa, per metro quadrato di superficie, attraverso una struttura che delimita due ambienti a temperatura diversa. Ogni elemento costituente il serramento finito contribuisce in maniera sostanziale alla prestazione globale del sistema in termini di trasmittanza termica e tra questi i più importanti risultano sicuramente il vetro ed i profili costituenti.

MURI ESTERNI

Trasmittanza termica U= 1.70 [W/m²K]

Risulta importante sottolineare che CitySim definisce il pacchetto dei muri secondo gli standard inglesi, ovvero dall'esterno verso l'interno.

Tabella 17 Edificio per uffici. Composizione dei muri esterni. Esterno- interno.

Nome	l [m]	p [Kg/m ³]	k[W/m°C]	Cp [J/Kg°C]
Intonaco	0.02	600	0.29	840
Laterizio	0.2	1800	0.72	880
Intonaco	0.01	600	0.29	840

Dove

l: spessore [m]

p: massa volumica [Kg/m³]

k: conducibilità termica [W/m°C]

Cp: calore specifico [J/Kg°C]

PROPRIETÀ TERMICHE DEI SOLAI ESTERNI

Short wave reflectance: 0.20

Percentuale di superficie vetrata [%]: 0.00

Trasmittanza termica U= 1.30 [W/m²K]

RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

Tabella 18 Edificio per uffici. Consumazione energetica mensile

Mese	Fabbisogno per il riscaldamento[Wh]	Fabbisogno per il raffrescamento[Wh]	Consumo di carburanti[J]	Consumo elettrico[J]
1	0	0	0	0
2	0	-28978.6	0	6.50E+07
3	0	-3.35E+06	0	6.80E+09
4	0	-1.83E+07	0	3.59E+10
5	0	-4.12E+07	0	9.56E+10
6	0	-5.25E+07	0	1.29E+11
7	0	-6.05E+07	0	1.59E+11
8	0	-5.49E+07	0	1.42E+11
9	0	-3.75E+07	0	8.73E+10
10	0	-1.87E+07	0	4.01E+10
11	0	-1.95E+06	0	4.07E+09
12	0	-1349.13	0	3.42E+06

Non vi sono consumi energetici per il riscaldamento, in quanto nell'area di Ras Al Khaimah non viene utilizzato, grazie alle miti temperature invernali.

RISULTATI: ENERGYPLUS

Fabbisogno per il raffrescamento: 859.84 [MJ/m²]

RISULTATI: CITYSIM

Fabbisogno per il raffrescamento: 869.88 [MJ]/m²

Differenza tra i due modelli: +10.04 [MJ]/m²

DIAGRAMMI

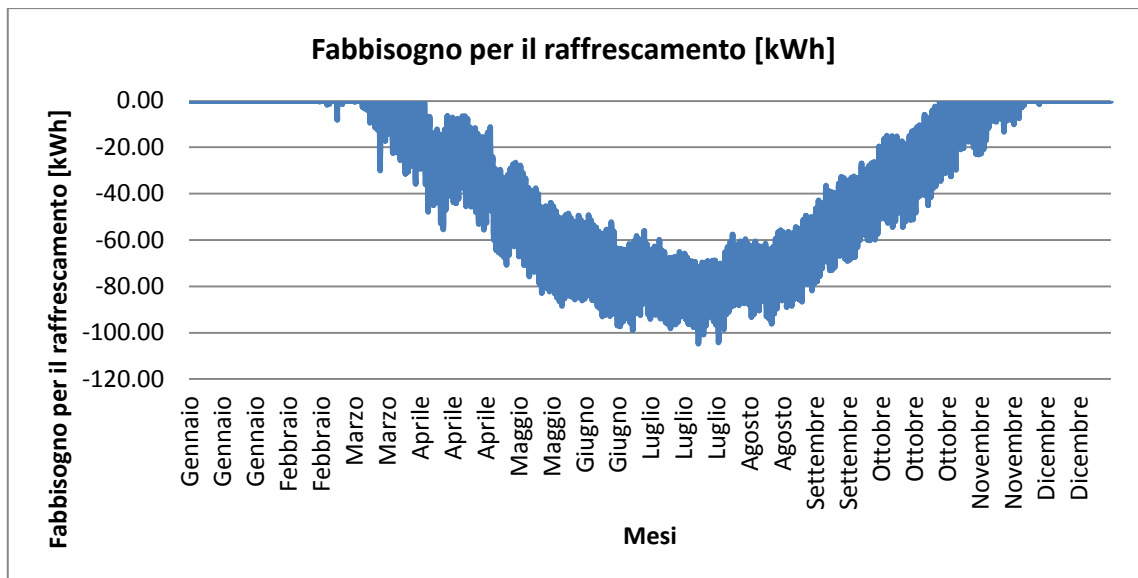


Figura 67 Edificio per uffici esistente. Fabbisogno energetico per raffrescamento [kWh/m²]

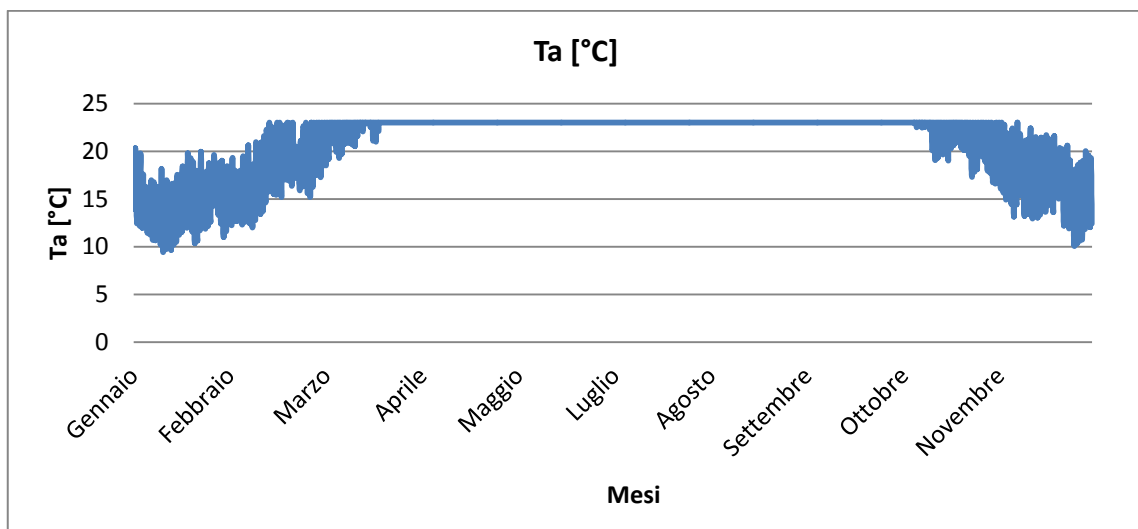


Figura 68 Edificio per uffici esistente. Temperatura interna [°C]

STUDIO DELL'IRRADIAZIONE SOLARE

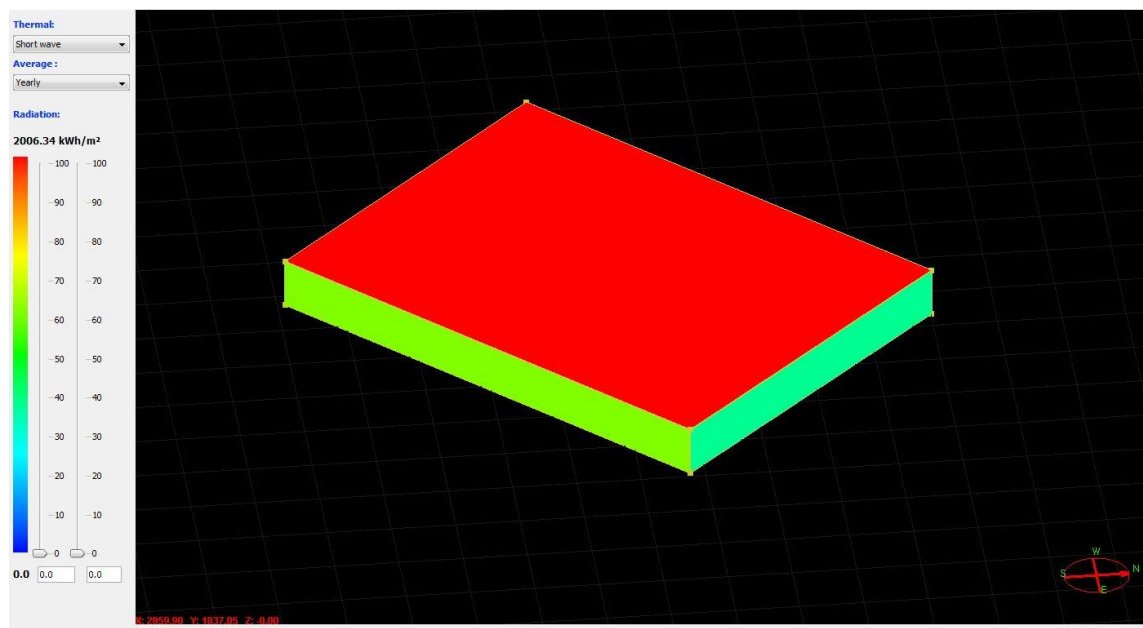


Figura 69 Edificio per uffici esistente. Radiazione solare annuale totale. Valore massimo 2006 [kWh/m²]

RISULTATI MENSILI

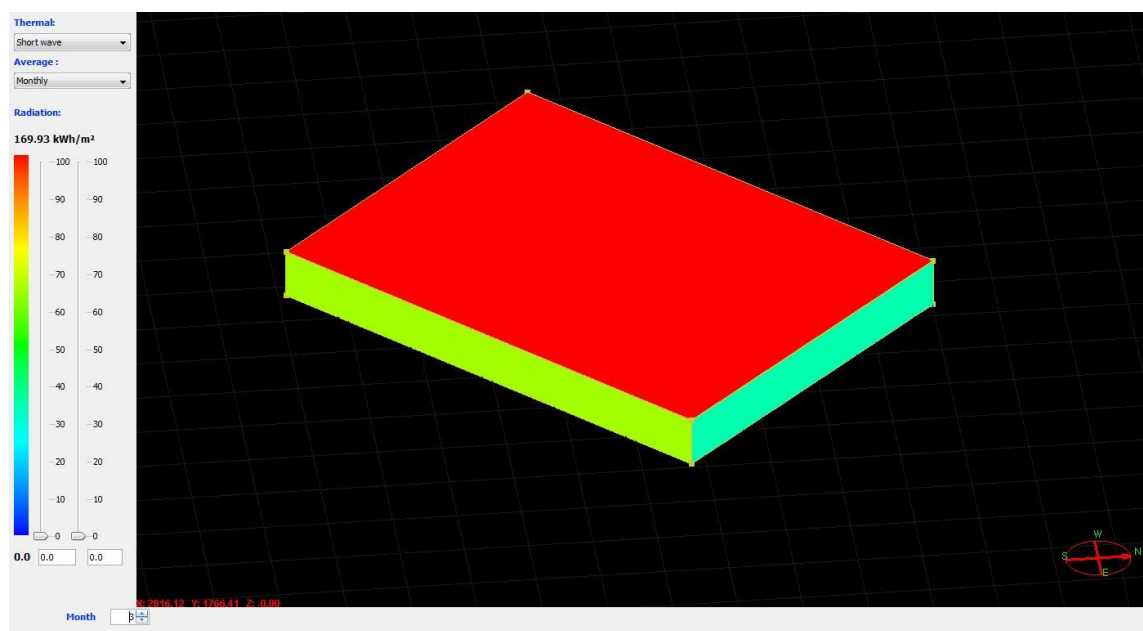


Figura 70 Edificio per uffici esistente. Radiazione solare mensile: marzo. Valore massimo 170 [kWh/m²]

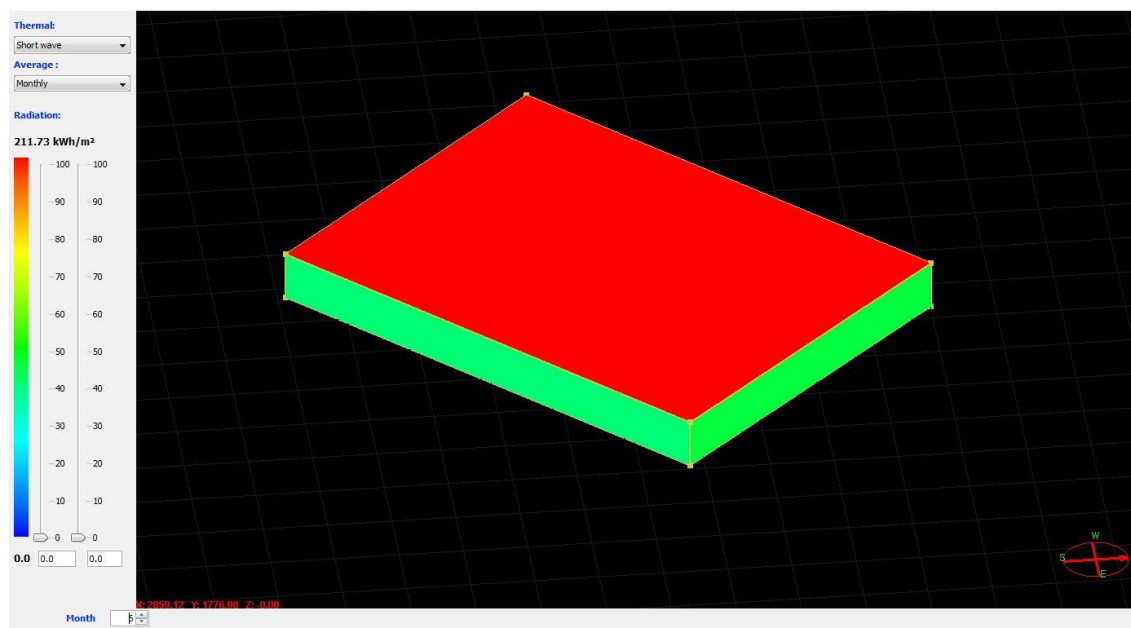


Figura 71 Edificio per uffici esistente. Radiazione solare mensile: giugno. Valore massimo 212 [kWh/m²]

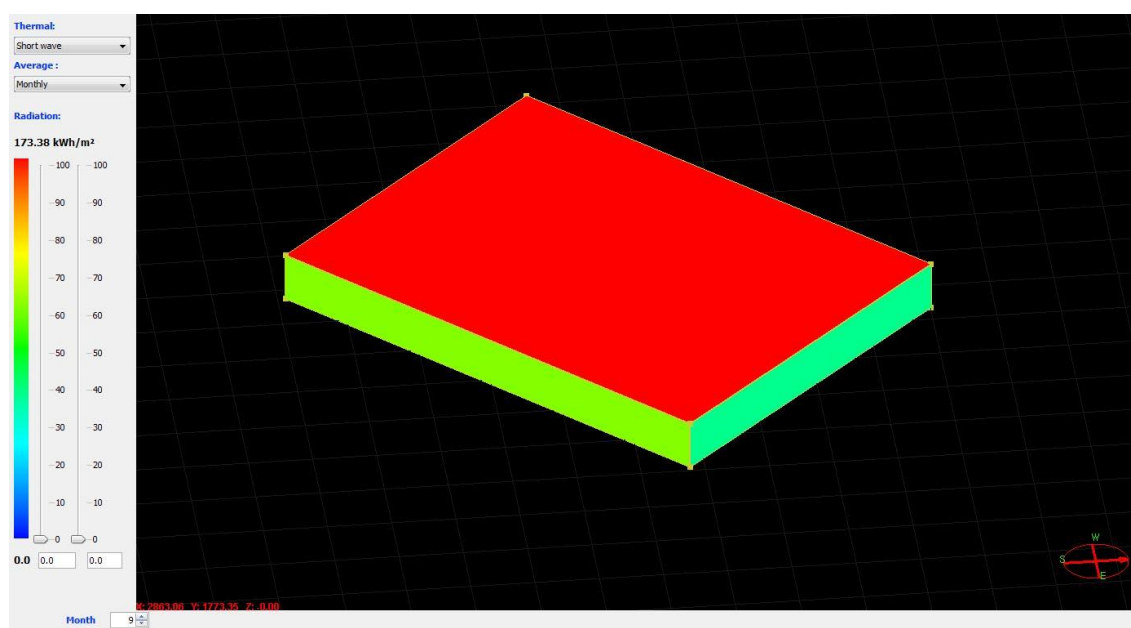


Figura 72 Edificio per uffici esistente. Radiazione solare mensile: settembre. Valore massimo 173 [kWh/m²]

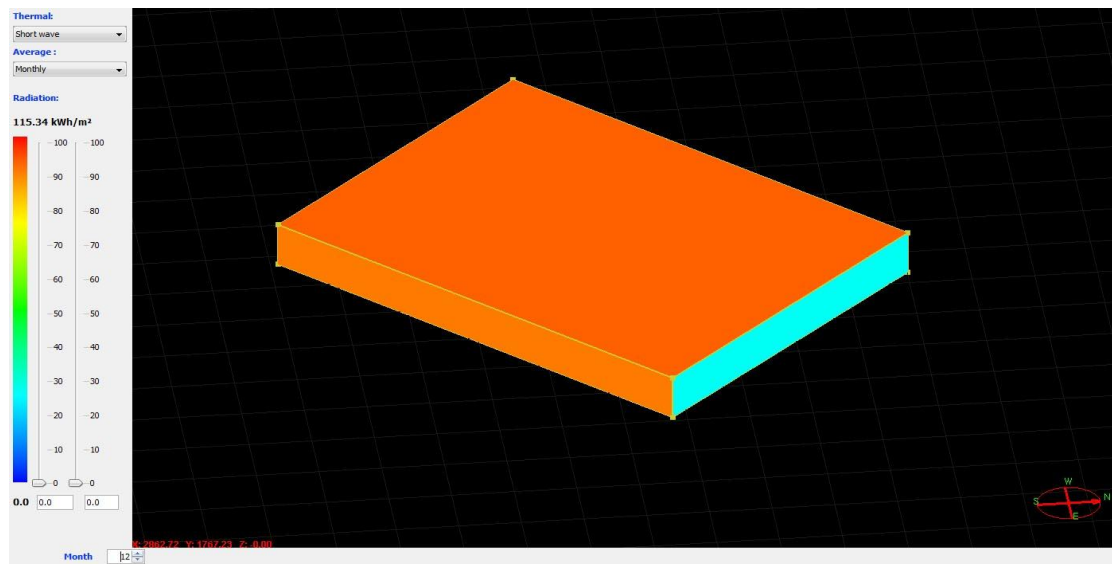


Figura 73 Edificio per uffici esistente. Radiazione solare mensile: dicembre. Valore massimo 115 [kWh/m²]

2.1.4 SENSIBILITÀ DEI PARAMETRI

Dopo la prima simulazione è stato importante definire l'influenza dei diversi parametri, come l'infiltrazione dell'aria negli ambienti interni, o l'eta tech. Definire la sensibilità di questi parametri è interessante per comprendere l'influenza degli stessi nella consumazione energetica totale, e per migliorare i risultati.

Profilo di occupazione

Il consumo energetico totale varia se non vi è alcun profilo d'occupazione, con un Q_s pari a 844.05 [MJ/m²]

Infiltrazioni d'aria

Le infiltrazioni sono uno dei parametri più importanti per la definizione del fabbisogno energetico: i migliori consumi avvengono con delle infiltrazioni ridotte.

Infiltrazioni d'aria pari a 0.05, $Q_s = 882.26$ [MJ/m²a].

Infiltrazioni d'aria pari a 1, $Q_s = 1,119.71$ [MJ/m²a].

Persone

Nell'analisi dei dati forniti da M. Papadopoulou, è stato riscontrato un errore nella valutazione delle persone: nel documento da lei redatto venivano inserite 34 persone, mentre nel file .idf (il file di scrittura dei dati del programma EnergyPlus) compaiono 17 persone totali. Variando il numero delle persone da 5 a 34, abbiamo ottenuto rispettivamente un consumo energetico pari a 851.61 e 896.10 [MJ/m²a].

Temperatura interna

Variando la temperature interna otteniamo un'importante variazione del fabbisogno energetico . Se Tmax: 25 [°C], Qs è 739.63 [MJ/m²a]. Se Tmax: 20 [°C], Qs è 1,084.51 [MJ/m²].

Eta tech

Variando l'eta tech della pompa di calore, non vengono individuate differenze significative nel fabbisogno energetico. Con un Eta tech pari a 0.45 o 0.80, il Qs è sempre pari a 869.88 [MJ/m²].

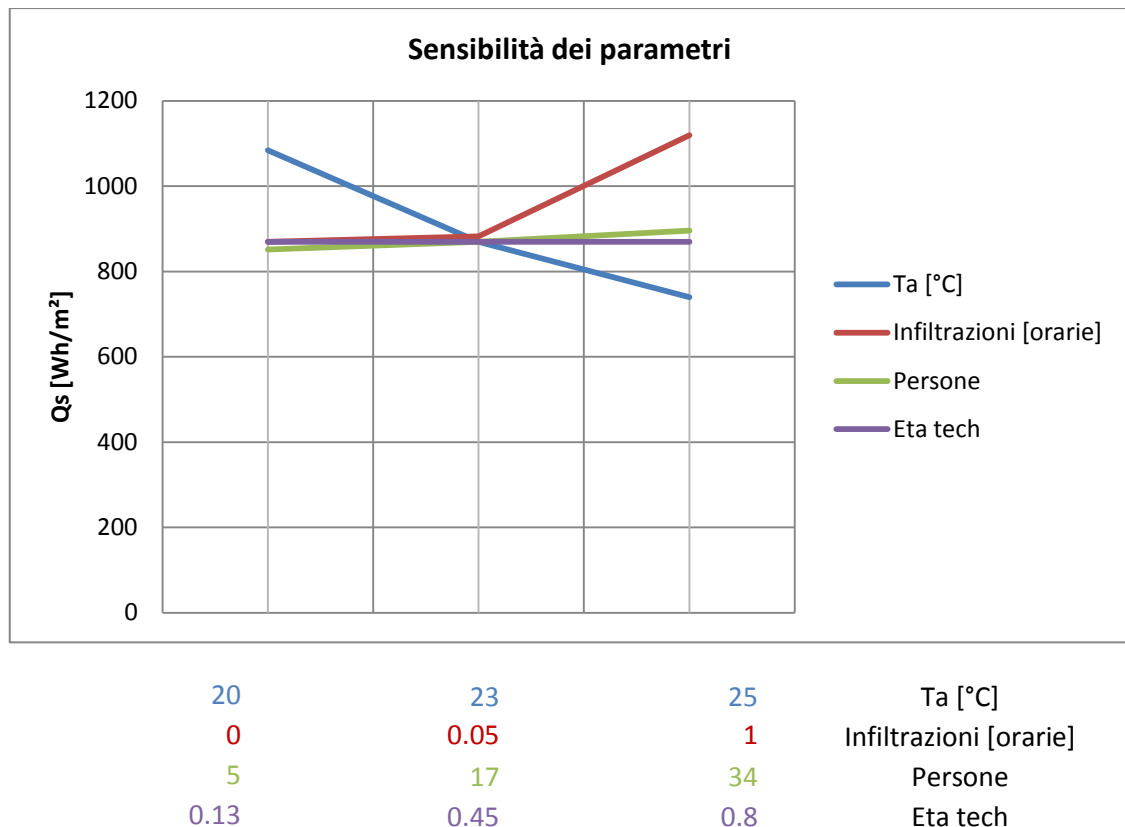


Figura 74 Edificio per uffici esistente. Sensibilità dei parametri

2.1.5 CASO STUDIO B: EDIFICIO MINERGIE

PROPRIETÀ DELL'EDIFICIO

Volume [m³]: 4,688.74

Infiltrazioni d'aria [orarie]: 0.05

Il valore delle infiltrazioni è tratto dal file riassuntivo della simulazione di EnergyPlus, ovvero il file .idf "EPlus2Standard_systemGlazed". I dati sono tratti dalla riga 16819 .

Tmin [°C]: 5

Tmax [°C]: 25

Profilo della temperatura in base agli occupanti: nessuno

Numero massimo di occupanti: 17

Profilo di occupazione: nessuno

REGOLAZIONE TERMICA DELL'EDIFICIO

HVAC: no HVAC

Inizio riscaldamento [giorno]: 1

Fine riscaldamento [giorno]: 365

Fonte di raffrescamento: pompa di calore

Inizio raffrescamento [giorno]: 1

Fine raffrescamento [giorno]: 365

POMPA DI CALORE

Potenza massima [W]: 372,100.00

COP: 4.00

η_{tech} : 0.25

$$\eta_{carnot} = \frac{(10+273.15)}{((10+273.15)-(28+273.15))}$$

$$\Delta T = 15 [^{\circ}C]$$

Sorgente: aria

PROPRIETÀ TERMICHE DEI MURI

Short wave reflectance: 0.20

Percentuale di superficie vetrata [%]: 0.44

Valore G del vetro : 0.05

In questo caso il coefficiente G è legato alla presenza di una facciata esterna composta da elementi schermanti, autoregolati in base alla radiazione solare incidente.

Trasmittanza termica serramento U [W/m²K]: 1.00

MURI ESTERNI

Trasmittanza termica U= 0.20 [W/m²K]

Tabella 19 Edificio per uffici. Composizione dei muri esterni. Esterno- interno.

Nome	l [m]	p [Kg/m ³]	k[W/m°C]	Cp [J/Kg°C]
Intonaco	0.02	600	0.29	840
Isolante	0.20	30	0.04	840
Laterizio	0.20	1800	0.72	880
Intonaco	0.01	600	0.29	840

Dove

l: spessore [m]

p: massa volumica [Kg/m³]

k: conducibilità termica [W/m°C]

Cp: calore specifico [J/Kg°C]

PROPRIETÀ TERMICHE DEI SOLAI ESTERNI

Short wave reflectance: 0.20

Percentuale di superficie vetrata [%]: 0.00

Trasmittanza termica U [W/m²K]: 0.20

RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

Tabella 20 Edificio per uffici Minergie. Consumazione energetica mensile

Me se	Fabbisogno per il riscaldamento[Wh]	Fabbisogno per il raffrescamento[Wh]	Consumo di carburanti[J]	Consumo elettrico[J]
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	-249784	0	2.44E+08
4	0	-2.17E+06	0	1.97E+09
5	0	-6.39E+06	0	6.38E+09
6	0	-8.44E+06	0	8.80E+09
7	0	-1.01E+07	0	1.13E+10
8	0	-9.13E+06	0	1.01E+10
9	0	-5.92E+06	0	5.85E+09
10	0	-2.58E+06	0	2.47E+09
11	0	-105194	0	1.07E+08
12	0	0	0	0

Dalla tabella 20 è possibile notare che nel caso Minergie è stato possibile ridurre il consumo energetico per il raffrescamento, annullandolo nei mesi di gennaio, febbraio e dicembre, grazie al passaggio da una temperatura di 23 [°C] ad una temperatura di 25 [°C]. Inoltre l'utilizzo di un isolamento esterno, e del sistema GIG holding per la facciata ha

permesso di ridurre drasticamente i consumi energetici, mantenendo la stessa percentuale vetrata. Come visibile nella tabella 20 il consumo energetico per il raffrescamento è massimo nel mese di luglio, con un valore pari a 10,100 [kWh], mentre nella simulazione precedente era pari a 60,500 [kWh].

RISULTATI: ENERGYPLUS

Fabbisogno per il raffrescamento: 110.51 [MJ/m²]

RISULTATI: CITYSIM

Fabbisogno per il raffrescamento: 135.69 [MJ/m²]

Differenza tra i due modelli: +25.18 [MJ/m²]

DIAGRAMMI

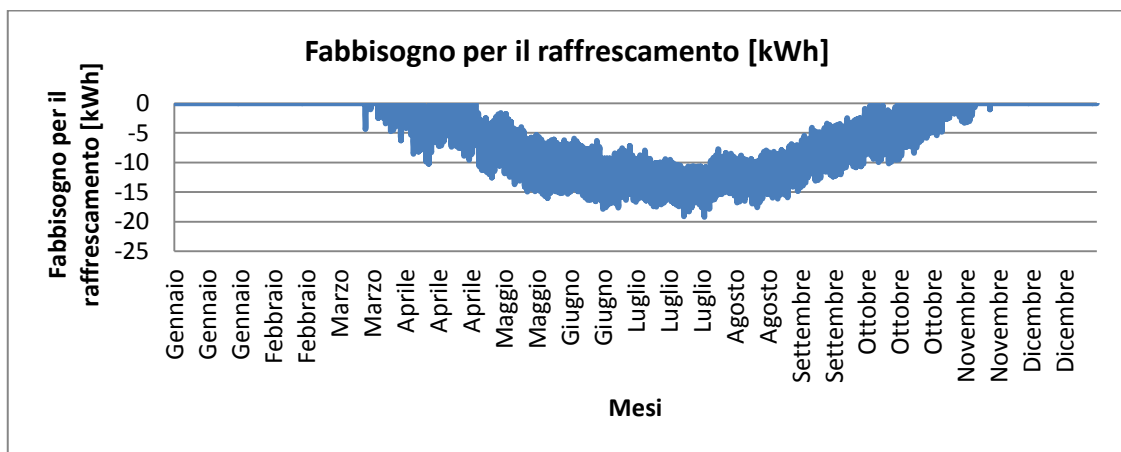


Figura 75 Edificio per uffici Minergie. Fabbisogno energetico per raffrescamento [kWh]

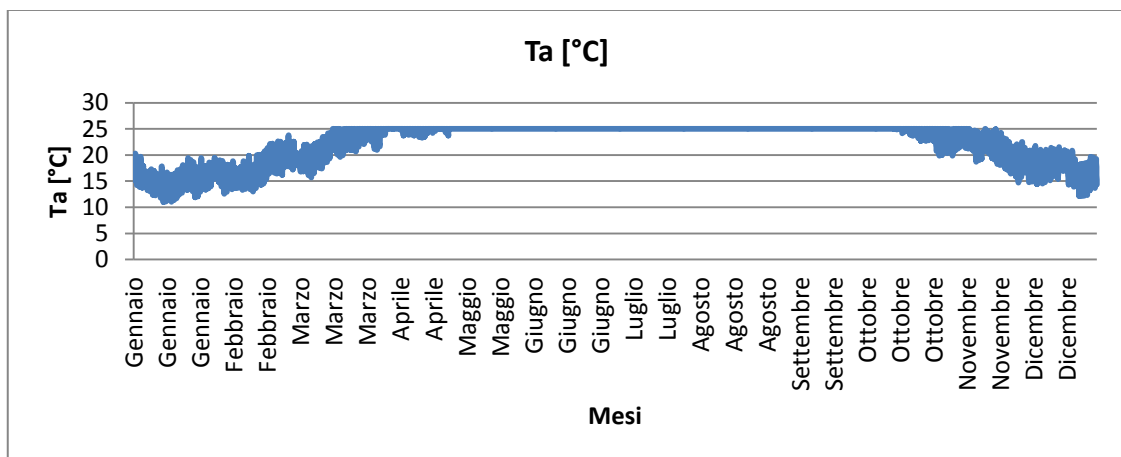


Figura 76 Edificio per uffici Minergie. Temperatura interna [°C]

2.1.6 SENSIBILITÀ DEI PARAMETRI

Anche in questo caso sono stati analizzati alcuni parametri, per capire la loro influenza sul fabbisogno energetico totale.

Infiltrazioni d'aria

Le infiltrazioni sono uno dei parametri più importanti per la definizione del fabbisogno energetico: i migliori consumi avvengono con delle infiltrazioni ridotte.

Infiltrazioni d'aria pari a 0.00, $Q_s = 126.05 \text{ [MJ/m}^2\text{a]}$.

Infiltrazioni d'aria pari a 1, $Q_s = 324.47 \text{ [MJ/m}^2\text{a]}$.

Temperatura interna

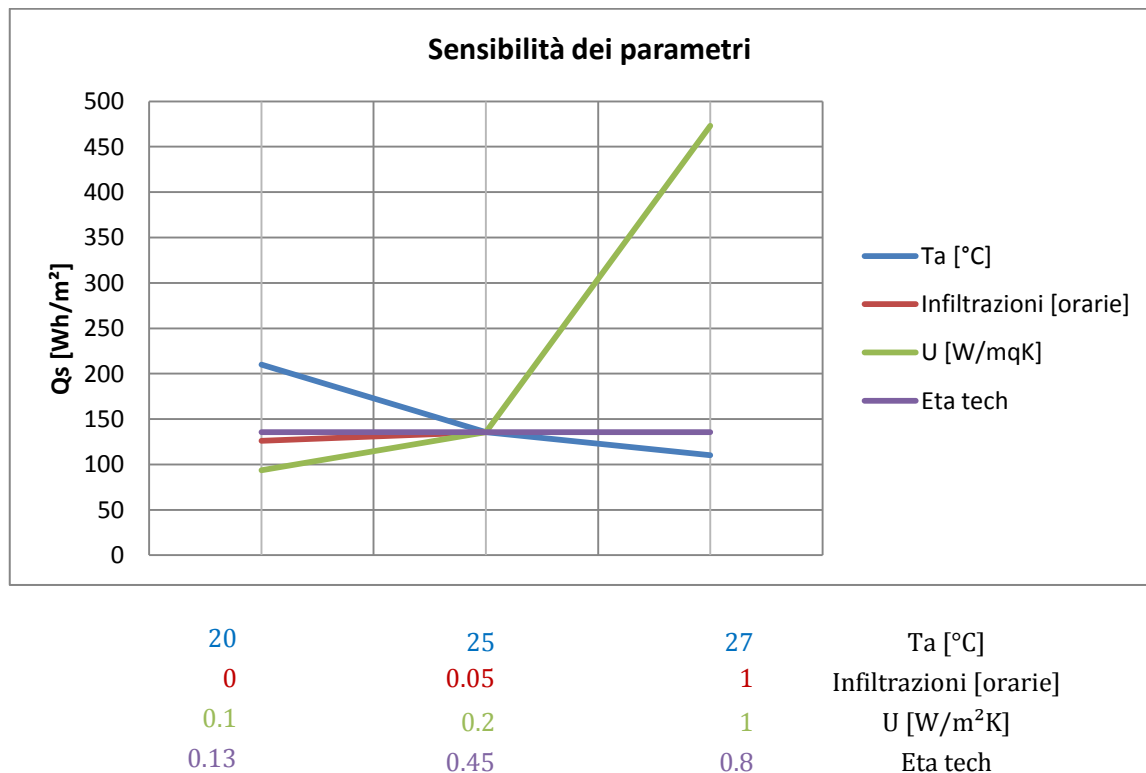
Variando la temperatura interna otteniamo un'importante variazione del fabbisogno energetico. Se $T_{\text{max}}: 27 \text{ [}^\circ\text{C]}$, Q_s è $110.18 \text{ [MJ/m}^2\text{a]}$. Se $T_{\text{max}}: 20 \text{ [}^\circ\text{C]}$, Q_s è $209.88 \text{ [MJ/m}^2\text{a]}$.

Eta tech

Variando l'eta tech della pompa di calore, non vengono individuate differenze significative nel fabbisogno energetico. Con un Eta tech pari a 0.45 o 0.80, il Q_s è sempre pari a $135.69 \text{ [MJ/m}^2\text{a]}$.

Trasmittanza dei solai esterni

La variazione della trasmittanza dei solai esterni crea una forte variazione nel fabbisogno energetico. Con una trasmittanza U pari a $0.1 \text{ [W/m}^2\text{K]}$, Q_s è pari a $93.71 \text{ [MJ/m}^2\text{a]}$, se U è pari a $1.00 \text{ [W/m}^2\text{K]}$, Q_s vale $473.19 \text{ [MJ/m}^2\text{a]}$.



2.1.7 CONFRONTO TRA I DUE CASI

Nei grafici sottostanti sono rappresentati i consumi energetici per il raffrescamento e la temperatura interna degli ambienti, nel caso esistente in blu, e Minergie in rosso. Risulta interessante notare la grande diminuzione nei consumi tra le due simulazioni.

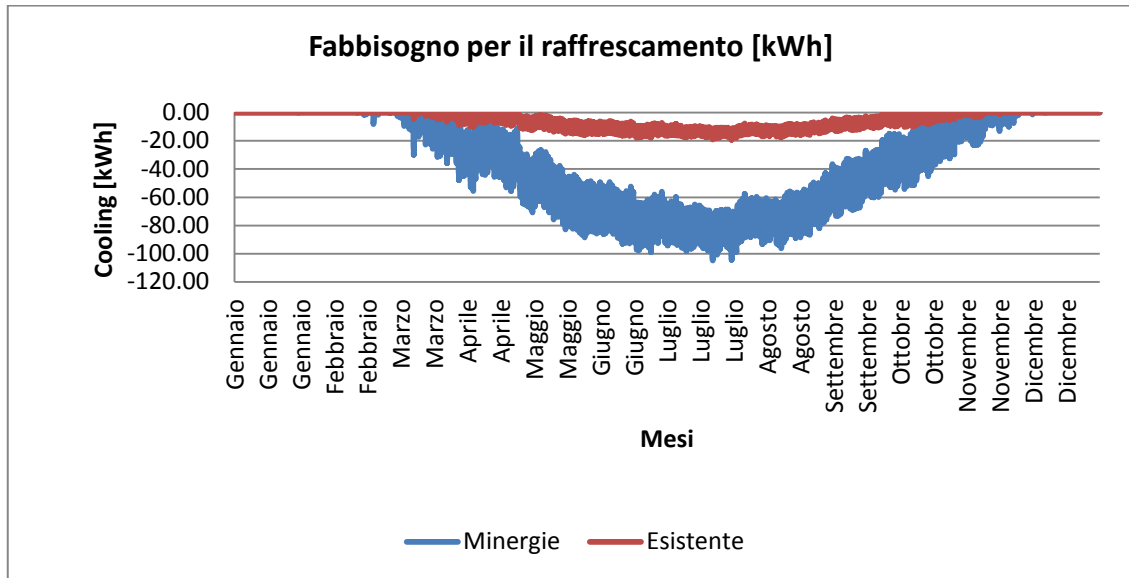


Figura 78 Edificio per uffici. Fabbisogno energetico per raffrescamento [kWh/m²]

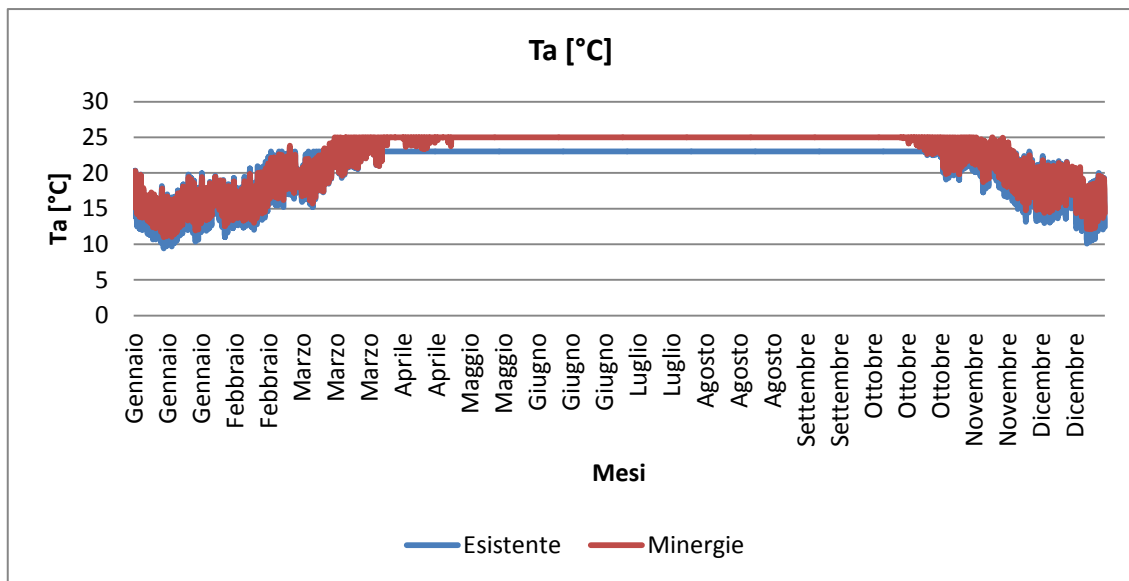


Figura 79 Edificio per uffici. Temperatura interna [°C]

2.2 ANALISI DI UNA VILLA A RAS AL KHAIMAH

Questa seconda analisi riguarda lo studio di un'abitazione privata sita in Ras Al Khaimah, lo studio è stato realizzato da Aabid Fouad, uno studente di master in ingegneria meccanica presso l'EPFL.

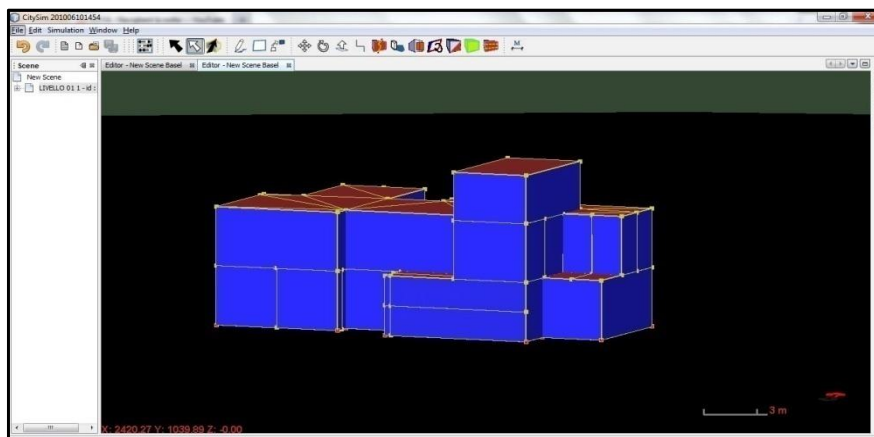


Figura 80 Villa in Ras Al Khaimah. Modello CitySim

2.2.1 DATI METEO

Latitudine [°] : 25.62 Nord

Longitune [°]: 55.93 Est

Altitudine [slm]: 31

I dati climatici sono stati creati con l'ausilio del programma Meteonorm, utilizzando l'interpolazione tra la stazione meteo dell'aeroporto di Ras Al Khaimah ed altre due stazioni. Nelle tabelle sottostanti sono stati inseriti a confronto i dati climatici ottenuti dal programma Meteonorm ed i dati del Dr Vigliotti.

Tabella 21 Villa. Temperature medie mensili [°C]

Media giornaliera [°C]			
	Meteonorm	Vigliotti	Differenza
Gennaio	18.96	18.42	0.54
Febbraio	20.32	20.60	-0.28
Marzo	23.38	23.85	-0.47
Aprile	27.27	28.07	-0.80
Maggio	32.25	32.80	-0.55
Giugno	34.17	34.80	-0.63
Luglio	36.25	36.37	-0.12
Agosto	35.76	36.04	-0.28
Settembre	32.69	33.27	-0.58
Ottobre	29.39	29.60	-0.21
Novembre	24.41	24.88	-0.47
Dicembre	20.95	20.77	0.18

Tabella 22 Villa. Velocità del vento media mensile [m/s]

FF Velocità del vento [m/s]			
	Meteonorm	Vigliotti	Differenza
Gennaio	1.99	2.04	-0.05
Febbraio	2.20	2.27	-0.07
Marzo	2.40	2.37	0.03
Aprile	2.41	2.51	-0.11
Maggio	2.60	2.72	-0.12
Giugno	2.60	2.72	-0.12
Luglio	2.80	3.00	-0.20
Agosto	2.60	2.85	-0.26
Settembre	2.20	2.30	-0.10
Ottobre	1.89	1.92	-0.03
Novembre	1.90	1.88	0.03
Dicembre	1.80	1.92	-0.12

Tabella 23 Villa. Direzione del vento [°]

DD Direzione del vento[°]			
	Meteonorm	Vigliotti	Differenza
Gennaio	238.87	218.00	20.87
Febbraio	232.32	223.00	9.32
Marzo	203.71	224.00	-20.29
Aprile	212.95	250.00	-37.05
Maggio	195.12	257.00	-61.88
Giugno	208.01	221.00	-12.99
Luglio	179.76	168.00	11.76
Agosto	209.19	178.00	31.19
Settembre	189.23	200.00	-10.77
Ottobre	203.54	204.00	-0.46
Novembre	217.06	222.00	-4.94
Dicembre	229.21	198.00	31.21

Tabella 24 Villa. Umidità relativa [%]

RH Umidità relativa[%]			
	Meteonorm	Vigliotti	Differenza
Gennaio	69.41	73.20	-3.79
Febbraio	69.68	68.60	1.08
Marzo	59.93	63.30	-3.37
Aprile	49.61	52.40	-2.79
Maggio	41.22	44.70	-3.48
Giugno	47.42	52.20	-4.78
Luglio	47.38	53.20	-5.82
Agosto	49.67	52.00	-2.33
Settembre	57.31	57.89	-0.57
Ottobre	59.26	61.67	-2.41
Novembre	63.39	63.33	0.06
Dicembre	67.08	69.67	-2.58

Tabella 25 Villa. Alba e tramonto

Mese	Giorno	Alba	Tramonto
Gennaio	15	7.43	18.26
Febbraio	15	7.31	18.49
Marzo	15	7.06	19.05
Aprile	15	6.33	19.19
Maggio	15	6.10	19.34
Giugno	15	6.04	19.48
Luglio	15	6.14	19.49
Agosto	15	6.29	19.31
Settembre	15	6.41	19.00
Ottobre	15	6.54	18.28
Novembre	15	7.14	18.08
Dicembre	15	7.35	18.08

2.2.2 PARAMETRI DI PROGETTO

Area piano terreno: 226.24 [m²]

Area piano primo: 197.20 [m²]

Area piano sottotetto: 34.76 [m²]

Area totale: 458.20 [m²]

Altezza netta piano terreno: 3.4 [m]

Altezza netta piano primo: 3.35 [m]

Altezza netta sottotetto: 2.60 [m]

Spessore solaio interpiano e copertura: 0.30 [m]

Orientazione: 11 [°] Nord- Est

2.2.3 CASO STUDIO C: EDIFICIO ESISTENTE

PROPRIETÀ DELL'EDIFICIO

Volume [m³]: 1,615.28

Infiltrazioni d'aria [orarie]: 0.70

Tmin [°C]: 5

Tmax [°C]: 25

Profilo della temperatura in base agli occupanti: nessuno

Numero massimo di occupanti: 6

Profilo di occupazione: nessuno

REGOLAZIONE TERMICA DELL'EDIFICIO

Fonte di raffrescamento: pompa di calore

Inizio raffrescamento [giorno]: 1

Fine raffrescamento [giorno]: 365

POMPA DI CALORE

Potenza massima [W]: 65,515.00

COP: 3.00

η_{tech} : 0.16

$$\eta_{tech} = COP / \eta_{carnot}$$

$$\eta_{carnot} = T_i / [T_i - T_e]$$

$$\eta_{carnot} = \frac{(15+273.15)}{((15+273.15)-(30.62+273.15))}$$

$$\eta_{carnot} = 18.45$$

$$\eta_{tech} = \frac{3}{18.45}$$

T_e [°C]: temperature sterna, in questo caso 30.62 [°C] come temperatura media nel periodo di raffrescamento, da marzo a novembre.

$$\Delta T = 10 [^{\circ}C]$$

Sorgente: aria

Tabella 26 Villa. Temperatura media tra marzo e novembre [°C]

Mese	T [°C]
Marzo	23.38
Aprile	27.27
Maggio	32.25
Giugno	34.17
Luglio	36.25
Agosto	35.76
Settembre	32.69
Ottobre	29.39
Novembre	24.41
Totale	30.62

PROPRIETÀ TERMICHE DEI MURI

Short wave reflectance: 0.20

Percentuale di superficie vetrata [%]: 0.14

Valore G del vetro : 0.58

Trasmittanza termica serramento U [W/m²K]: 2.84

MURI ESTERNI

Trasmittanza termica U [W/m²K]: 1.289

Risulta importante sottolineare che CitySim definisce il pacchetto dei muri secondo gli standard inglesi, ovvero dall'esterno verso l'interno.

Tabella 27 Villa. Composizione dei muri esterni. Esterno- interno.

Nome	l [m]	p [Kg/m ³]	k[W/m°C]	Cp [J/Kg°C]
Intonaco	0.02	600	0.29	840
Cemento	0.17	1100	0.34	880
Intonaco	0.01	600	0.29	840

Dove

l: spessore [m]

p: massa volumica [Kg/m³]

k: conducibilità termica [W/m°C]

Cp: calore specifico [J/Kg°C]

PROPRIETÀ TERMICHE DEI SOLAI ESTERNI

Short wave reflectance: 0.20

Percentuale di superficie vetrata [%]: 0.00

Trasmittanza termica U [W/m²K]: 1.80

RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

Tabella 28 Villa esistente. Consumazione energetica mensile

Mese	Fabbisogno per il riscaldamento [Wh]	Fabbisogno per il raffrescamento [Wh]	Consumo di carburanti [J]	Consumo elettrico [J]
1	0	0	0	0
2	0	-52446.7	0	9.20E+07
3	0	-1.71E+06	0	2.92E+09
4	0	-7.38E+06	0	1.27E+10
5	0	-1.73E+07	0	3.36E+10
6	0	-2.18E+07	0	4.45E+10
7	0	-2.55E+07	0	5.53E+10
8	0	-2.35E+07	0	5.01E+10
9	0	-1.62E+07	0	3.13E+10
10	0	-8.42E+06	0	1.53E+10
11	0	-1.37E+06	0	2.35E+09
12	0	-44959.4	0	8.18E+07

RISULTATI: ENERGYPLUS

Consumo elettrico per il raffrescamento: 150.53 [kWh/m²]

RISULTATI: CITYSIM

Consumo elettrico per il raffrescamento: 150.59 [kWh/m²]

Fabbisogno per il raffrescamento: 268.88 [kWh/m²]

Differenza tra i due modelli: +0.06 [kWh/m²]

DIAGRAMMI

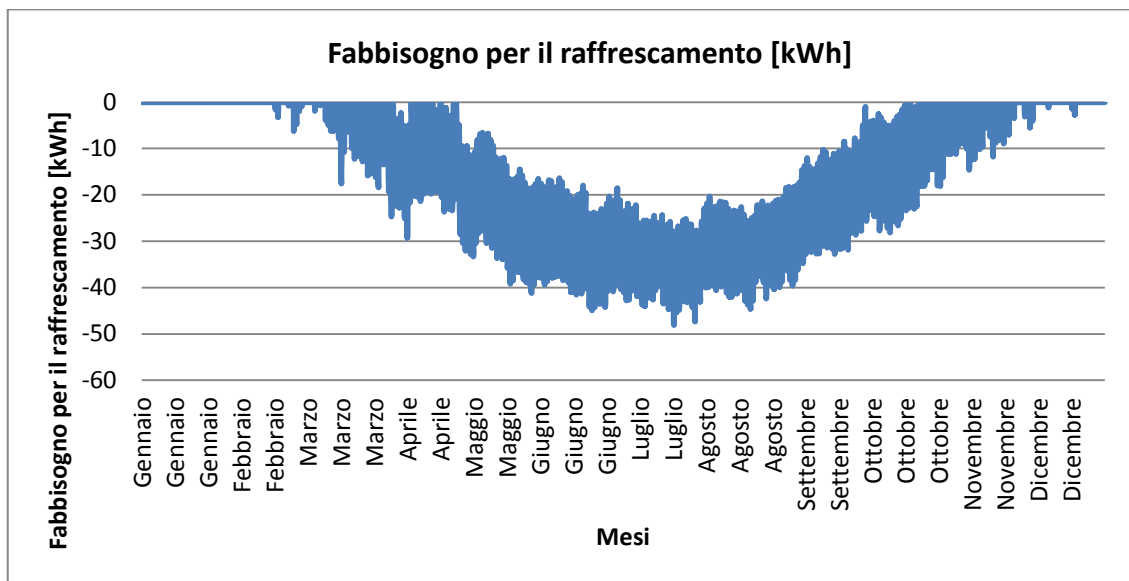


Figura 81 Villa esistente. Fabbisogno energetico per raffrescamento [kWh/m²]

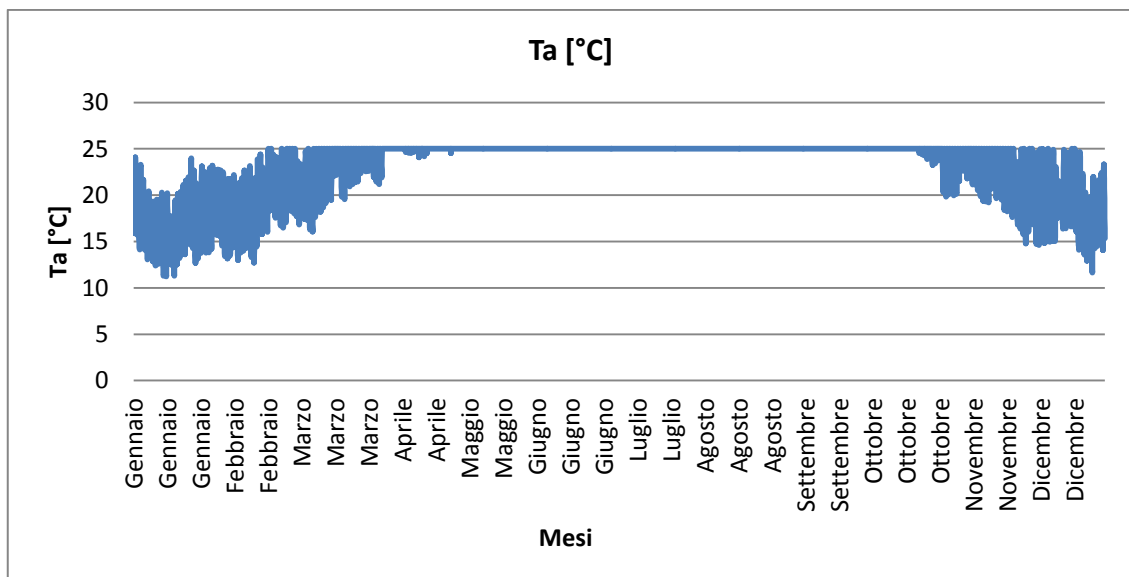


Figura 82 Villa esistente. Temperatura interna [°C]

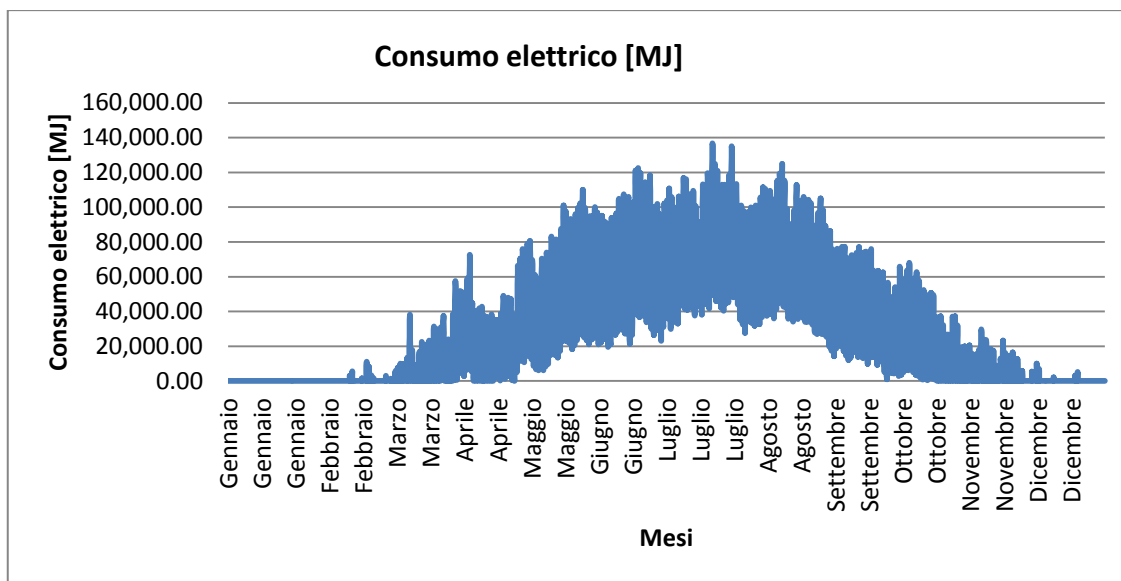


Figura 83 Villa esistente. Consumo elettrico per il raffrescamento [MJ]

STUDIO DELL'IRRADIAZIONE SOLARE

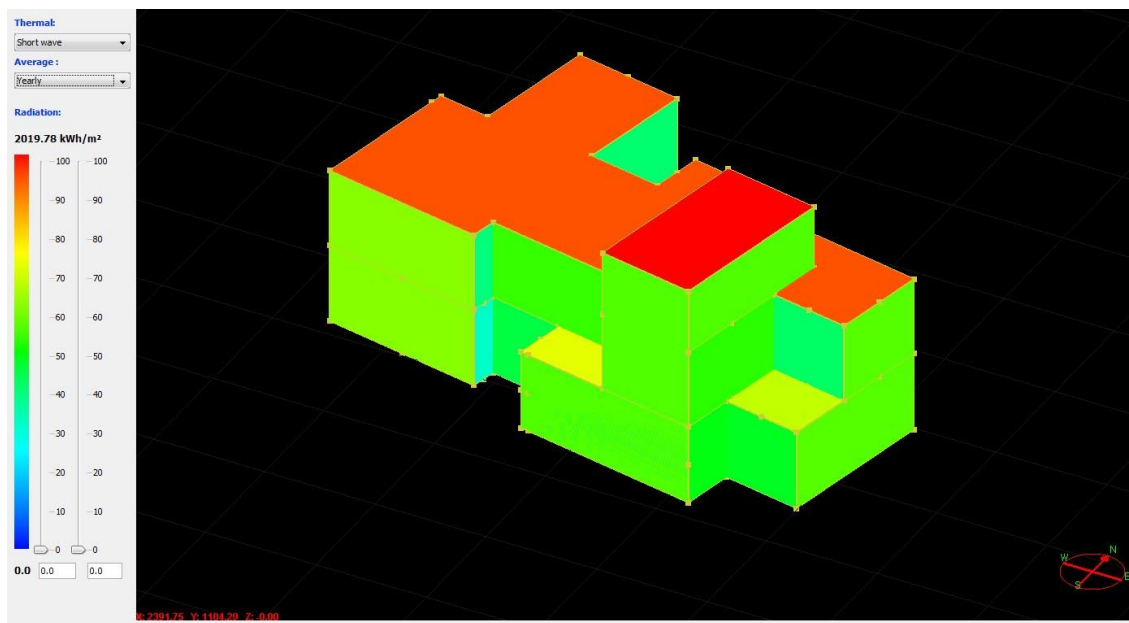


Figura 84 Villa. Radiazione solare annuale totale. Valore massimo 2019 [kWh/m²]

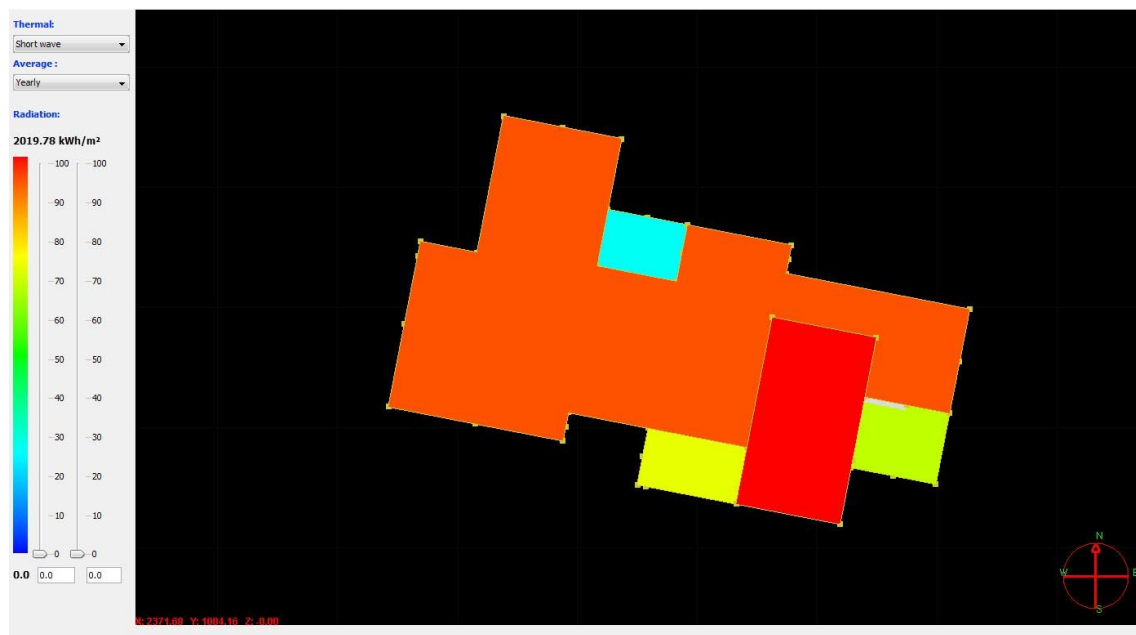


Figura 85 Villa. Radiazione solare annuale totale. Valore massimo 2019 [kWh/m²]

L'elemento più interessante nello studio della radiazione solare è la differente radiazione sui tetti, a causa dello sfasamento volumetrico delle superfici.

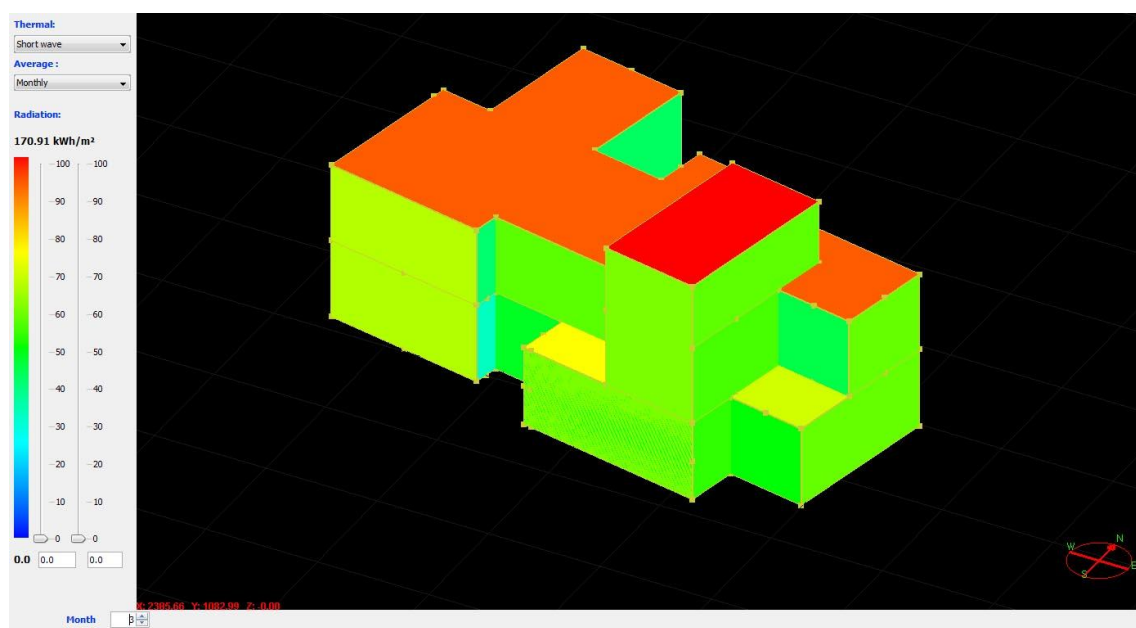


Figura 86 Villa. Radiazione solare mensile: marzo. Valore massimo 171 [kWh/m²]

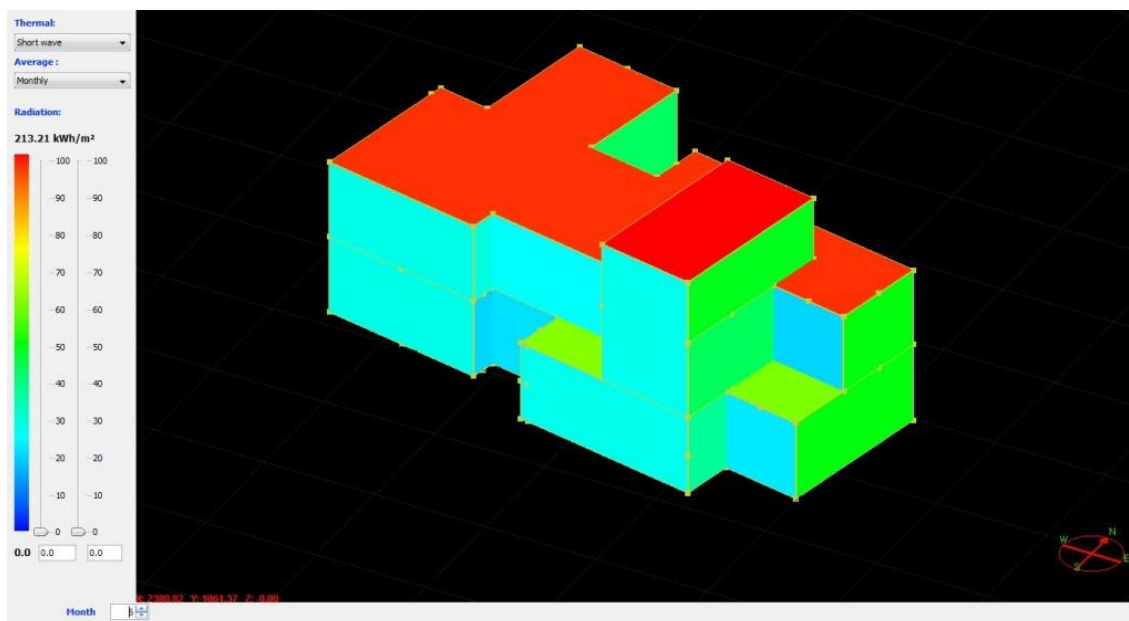


Figura 87 Villa. Radiazione solare mensile: giugno. Valore massimo 213 [kWh/m²]

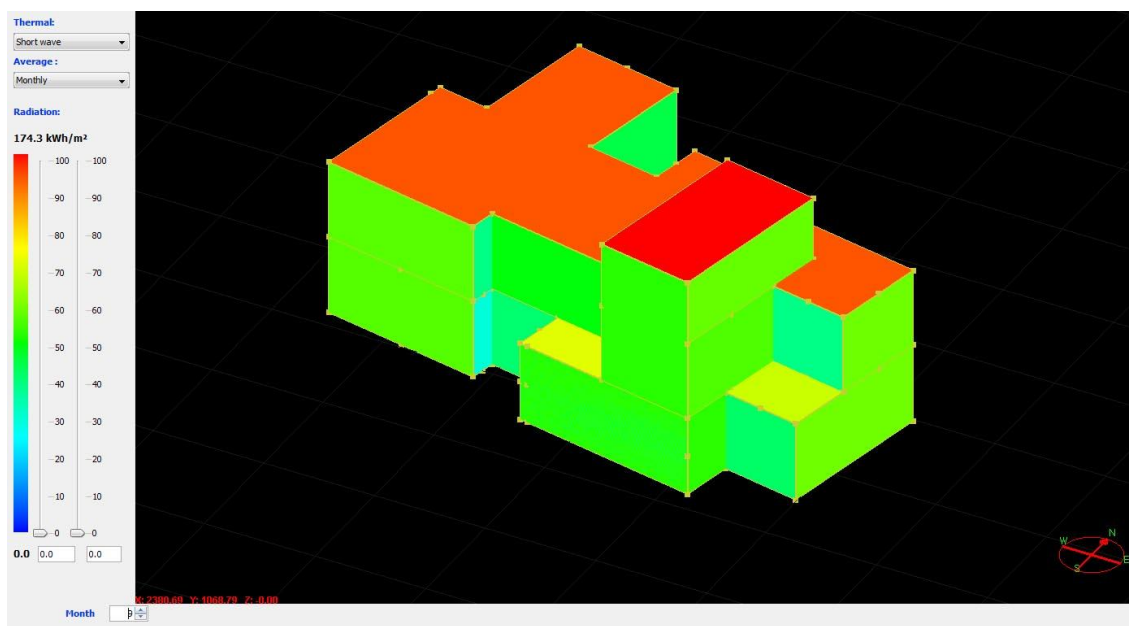


Figura 88 Villa. Radiazione solare mensile: settembre. Valore massimo 174 [kWh/m²]

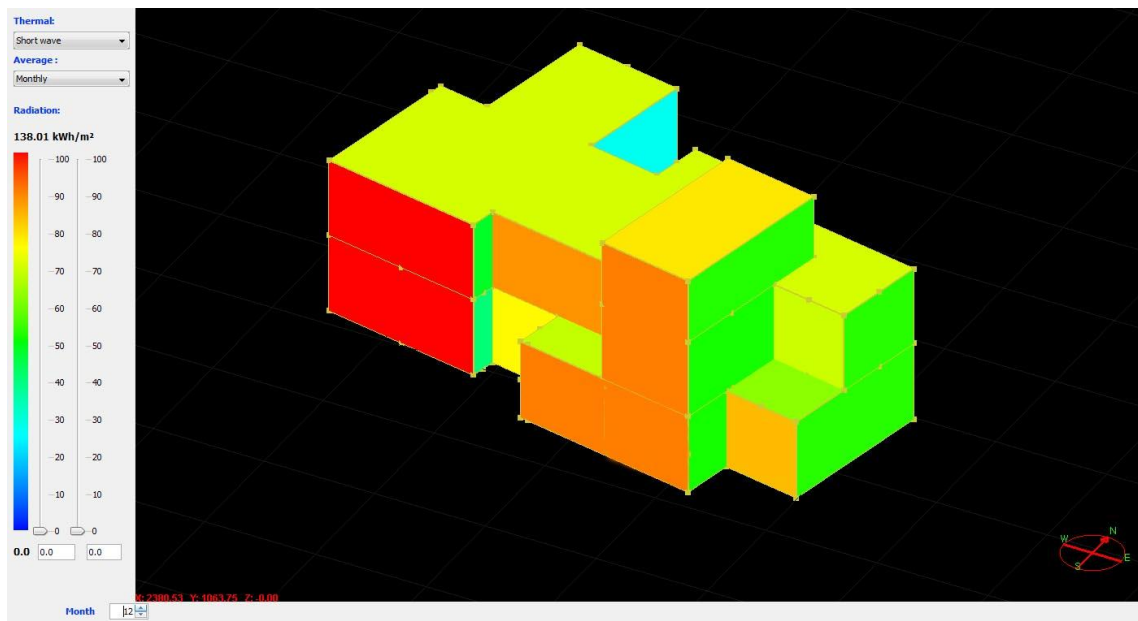


Figura 89 Villa. Radiazione solare mensile: dicembre. Valore massimo 138 [kWh/m²]

2.2.4 SENSIBILITÀ DEI PARAMETRI

In questo paragrafo viene evidenziata l'influenza di alcuni parametri sul fabbisogno energetico dell'edificio, ovvero l'Eta tech, ΔT , e le infiltrazioni d'aria.

Eta tech 0.16, ΔT : 12

Te: 28 [°C]

Ti: 13[°C]

Eta carnot: 19.07

Qs: 268.88 [kWh/m²]

Consumo elettrico per il raffrescamento: 137.61[kWh/m²]

COP: 2.40

Eta tech 0.18, ΔT : 12

Te: 30.62[°C]

Ti: 13 [°C]

Eta carnot: 16.24

Qs: 268.88 [kWh/m²]

Consumo elettrico per il raffrescamento: 122.32 [kWh/m²]

COP: 2.70

Eta tech 0.22, ΔT : 15

Te: 30.62 [°C]

Ti: 10 [°C]

Eta carnot: 13.73

Qs: 268.88 [kWh/m²a]

Consumo elettrico per il raffrescamento: 86.16 [kWh/m²]

COP: 4.06

Eta tech 0.19, ΔT : 13

Te: 30.62 [°C]

Ti: 12 [°C]

Eta carnot: 15.31

Qs: 268.88 [kWh/m²a]

Consumo elettrico per il raffrescamento: 110.47 [kWh/m²]

COP: 3.04

Infiltrazioni d'aria 0.00

Qs: 234.25 [kWh/m²a]

Consumo elettrico per il raffrescamento: 130.25 [kWh/m²]

Infiltrazioni d'aria 1.00

Qs: 283.83 [kWh/m²a]

Consumo elettrico per il raffrescamento: 159.34 [kWh/m²]

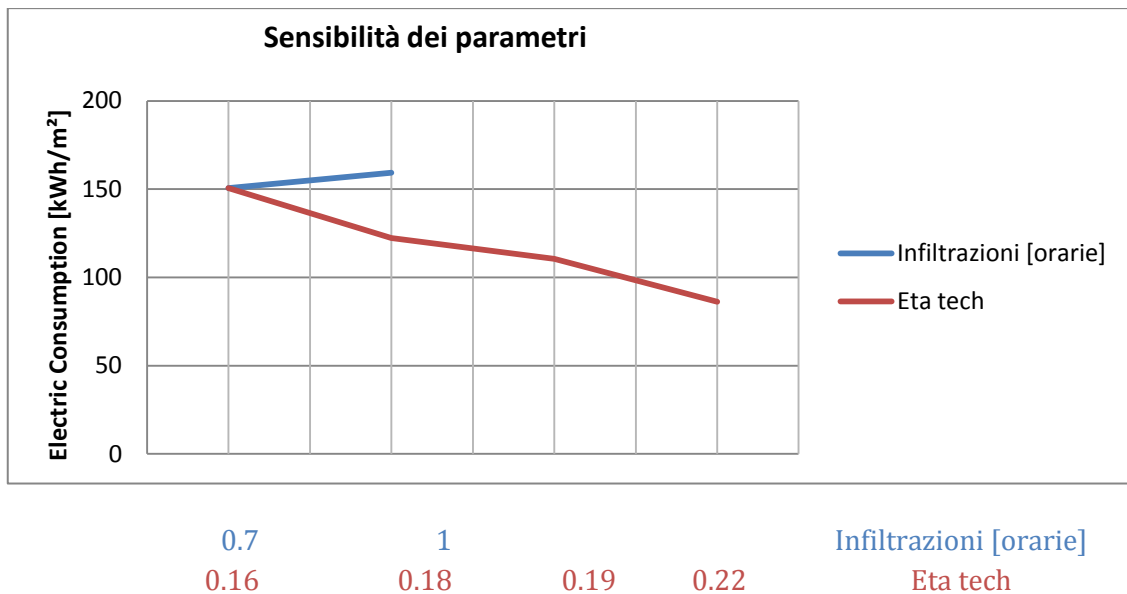


Figura 90 Villa esistente. Sensibilità dei parametri

2.2.5 CASO STUDIO D: EDIFICIO MINERGIE

PROPRIETÀ DELL'EDIFICIO

Volume [m³]: 1,615.28

Infiltrazioni d'aria [orarie]: 0.1

Tmin [°C]: 5

Tmax [°C]: 25

Profilo della temperatura in base agli occupanti: nessuno

Numero massimo di occupanti: 6

Profilo di occupazione: nessuno

REGOLAZIONE TERMICA DELL'EDIFICIO

Fonte di raffrescamento: pompa di calore

Inizio raffrescamento [giorno]: 1

Fine raffrescamento [giorno]: 365

POMPA DI CALORE

Potenza massima [W]: 65,515.00

COP: 4.00

η_{tech} : 0.20

$$\eta_{carnot} = \frac{(16+273.15)}{((16+273.15)-(30.62+273.15))}$$

$$\Delta T = 9 [^{\circ}C]$$

Sorgente: aria

PROPRIETÀ TERMICHE DEI MURI

Short wave reflectance: 0.20

Percentuale di superficie vetrata [%]: 0.14

Valore G del vetro : 0.162

Trasmittanza termica serramento U [W/m²K]: 1.00

MURI ESTERNI

Trasmittanza termica U= 0.20 [W/m²K]

Tabella 29 Edificio per uffici. Composizione dei muri esterni. Esterno- interno.

Nome	l [m]	p [Kg/m ³]	k[W/m°C]	Cp [J/Kg°C]
Intonaco	0.02	600	0.29	840
Isolante	0.10	30	0.04	840
Cemento	0.17	1100	0.34	880
Intonaco	0.01	600	0.29	840

Dove

l: spessore [m]

p: massa volumica [Kg/m³]

k: conducibilità termica [W/m°C]

Cp: calore specifico [J/Kg°C]

PROPRIETÀ TERMICHE DEI SOLAI ESTERNI

Short wave reflectance: 0.20

Percentuale di superficie vetrata [%]: 0.00

Trasmittanza termica U [W/m²K]: 0.20

RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

Tabella 30 Villa Minergie. Consumazione energetica mensile

Mese	Fabbisogno per il riscaldamento [Wh]	Fabbisogno per il raffrescamento [Wh]	Consumo di carburanti [J]	Consumo elettrico [J]
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	-340162	0	5.43E+08
4	0	-1.58E+06	0	2.38E+09
5	0	-3.44E+06	0	5.77E+09
6	0	-4.19E+06	0	7.33E+09
7	0	-4.92E+06	0	9.14E+09
8	0	-4.60E+06	0	8.42E+09
9	0	-3.22E+06	0	5.40E+09
10	0	-1.86E+06	0	2.96E+09
11	0	-276046	0	4.64E+08
12	0	0	0	0

RISULTATI: ENERGYPLUS

Consumo elettrico per il raffrescamento: 25.09[kWh/m²]

RISULTATI: CITYSIM

Consumo elettrico per il raffrescamento: 25.71[kWh/m²]

Fabbisogno per il raffrescamento: 53.33 [kWh/m²]

Differenza tra i due modelli: +0.62 [kWh/m²]

DIAGRAMMI

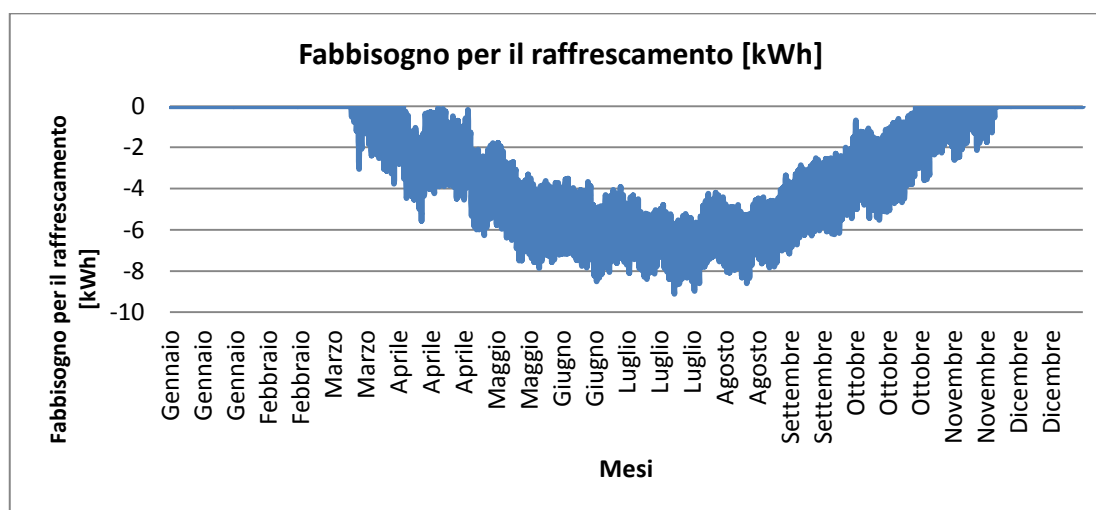


Figura 91 Villa Minergie. Fabbisogno energetico per raffrescamento [kWh/m²]

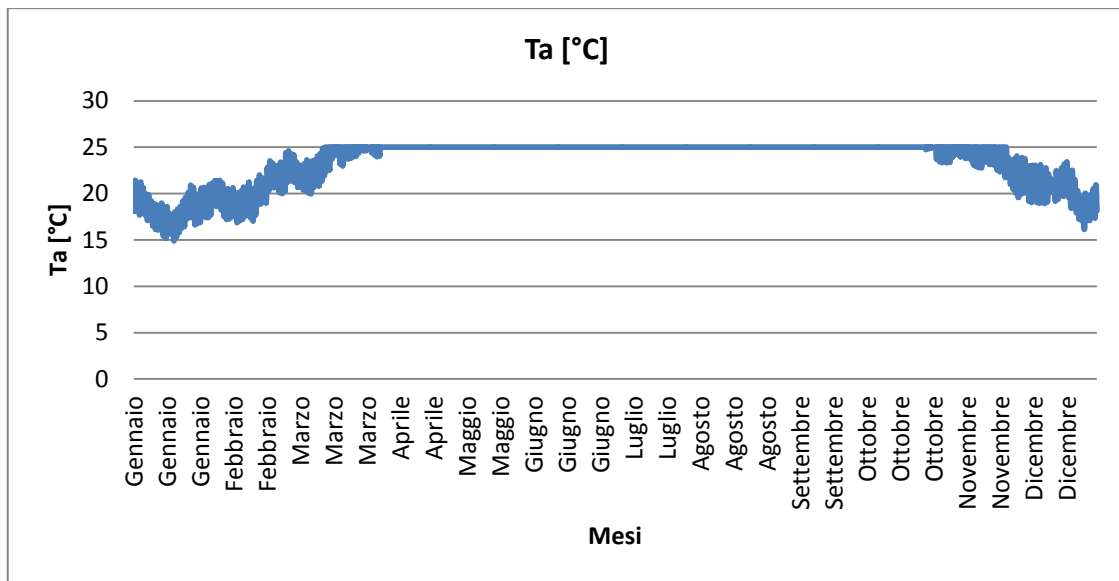


Figura 92 Villa Minergie. Temperatura interna [°C]

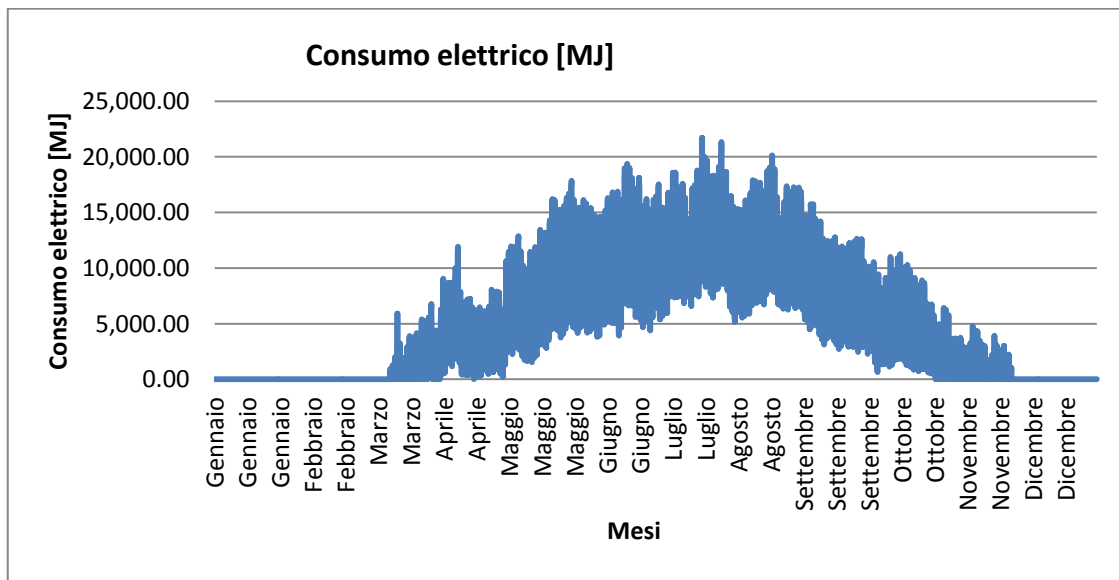


Figura 93 Villa Minergie. Consumo elettrico per il raffrescamento [MJ]

2.2.6 SENSIBILITÀ DEI PARAMETRI

Come conclusione delle simulazioni, verranno valutate le influenze di alcuni parametri del fabbisogno energetico dell'edificio, in questo caso l'eta tech e la temperatura interna.

Eta tech 0.26, ΔT : 12

Te: 30.62 [°C]

Ti: 13 [°C]

Eta carnot: 15.31

Qs: 53.33 [kWh/m²]

Consumo elettrico per il raffrescamento: 17.28 [kWh/m²]

COP: 3.97

Eta tech 0.29, ΔT: 15

Te: 30.62 [°C]

Ti: 10 [°C]

Eta carnot: 13.73

Qs: 53.33 [kWh/m² y]

Consumo elettrico per il raffrescamento: 13.30 [kWh/m²]

COP: 5.50

Eta tech 0.22, ΔT: 10

Te: 30.62 [°C]

Ti: 15 [°C]

Eta carnot: 18.44

Qs: 53.33 [kWh/m²]

Consumo elettrico per il raffrescamento: 22.38 [kWh/m²]

COP: 2.98

Infiltrazioni d'aria [orarie]: 0.00

Qs: 97.58[kWh/m²]

Consumo elettrico per il raffrescamento: 47.31 [kWh/m²]

Infiltrazioni d'aria [orarie]: 0.5

Qs: 72.77[kWh/m²]

Consumo elettrico per il raffrescamento: 35.24 [kWh/m²]

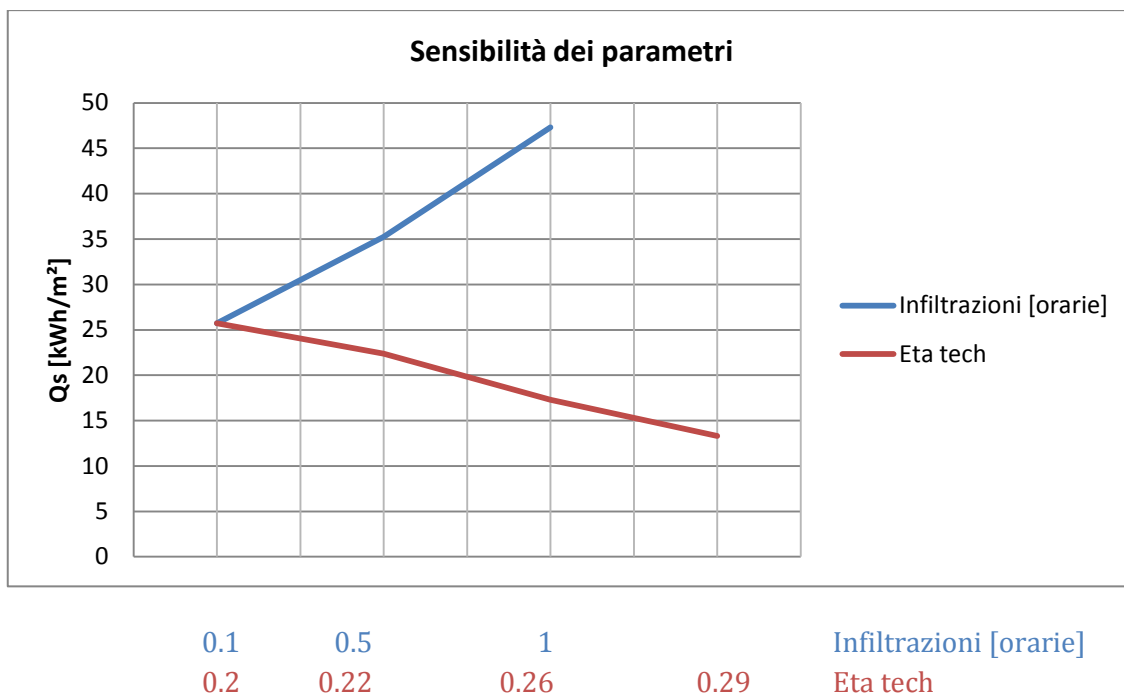


Figura 94 Villa Minergie. Sensibilità dei parametri

2.2.7 CONFRONTO TRA I DUE CASI

Nei grafici sottostanti sono rappresentati i consumi energetici per il raffrescamento, la temperatura interna degli ambienti, e la consumazione elettrica, nel caso esistente in blu, e Minergie in rosso. Risulta interessante notare la grande diminuzione nei consumi tra le due simulazioni.

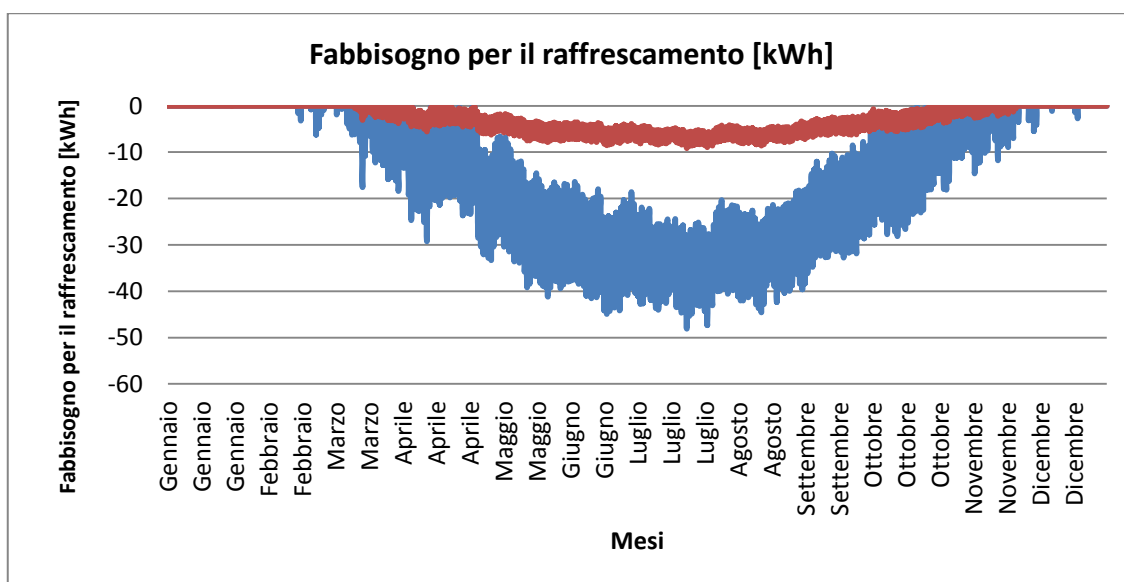


Figura 95 Villa. Fabbisogno energetico per raffrescamento [kWh/m²]

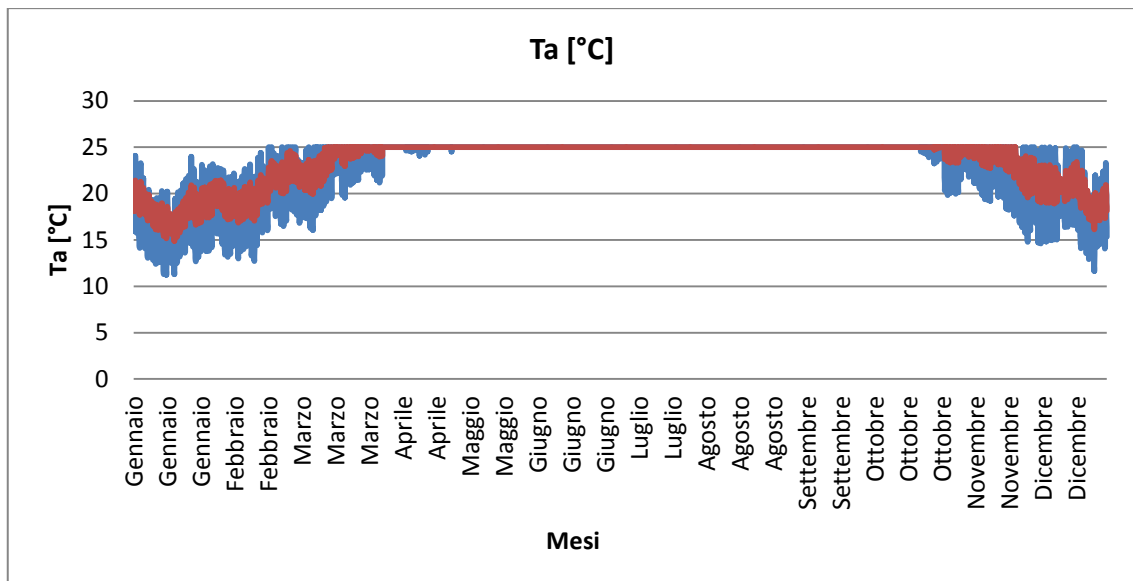


Figura 96 Villa. Temperatura interna [°C]

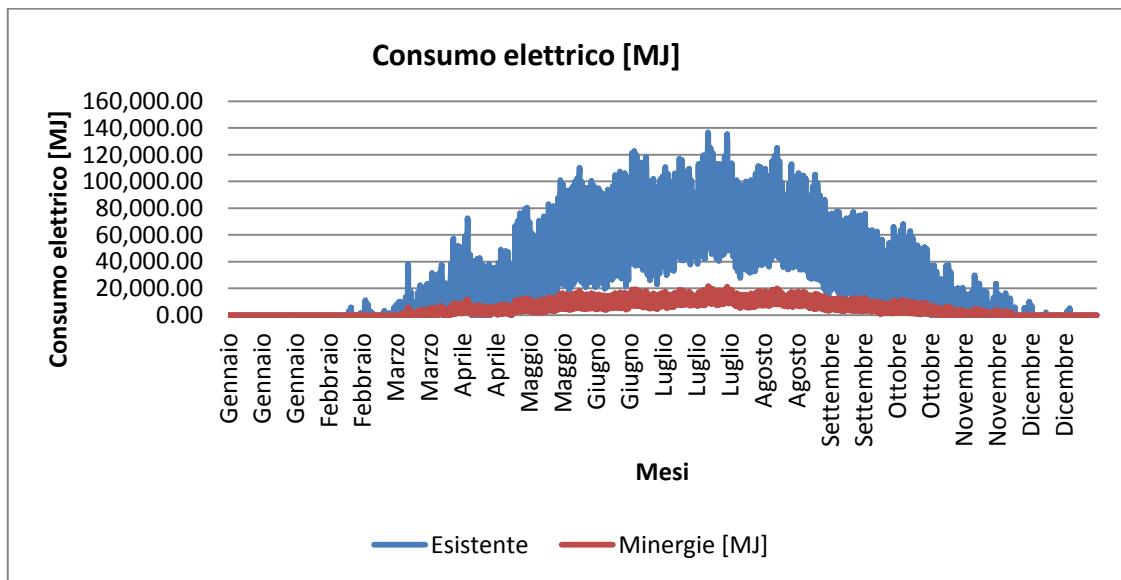


Figura 97 Villa. Consumo elettrico per il raffrescamento [MJ]

2.3 CONCLUSIONI

In questo capitolo sono stati studiati due edifici siti a Ras Al Khaimah, negli Emirati Arabi. Per entrambi sono stati analizzati i dati climatici, e sono state definite le linee guida per trasformare gli edifici esistenti in edifici Minergie. In questo capitolo è stato inoltre interessante definire come funziona il software CitySim, in quale scala lavora, ed a quale precisione può arrivare, testando la correttezza dei risultati.

3.0 I PRIMI MASTERPLAN PER L'EPFL MIDDLE EST

I primi elementi che sono stati utilizzati per sviluppare i primi Masterplan, sono stati ricavati in parte dall'architettura locale, in parte dai dati climatici disponibili, ed infine dai dati presentati dal Dr Franco Vigliotti. Infatti tutte le superfici e le relative destinazioni d'uso sono state individuate dal Dr Vigliotti, rettore della facoltà negli Emirati Arabi. In un secondo tempo sono stati utilizzati i valori ricavati dalle simulazioni indicate nel capitolo 2, soprattutto i dati relativi alle prescrizioni Minergie negli Emirati Arabi.

Prima di tutto è importante localizzare il sito del Masterplan: esso è situato in un'area desertica, a circa 16[km] dall'aeroporto internazionale di Ras Al Khaimah, 30 [km] dal centro di Ras Al Khaimah, circa 21 [km] dal mare e 100 [km] da Dubai. Il sito ha le seguenti coordinate geografiche:

Latitude: 25.63 [25° 38' 2.75" N]

Longitudine: 55.84 [55° 50' 37.86" E]



Figura 98 Emirato di Ras al Khaimah. Ortofoto da Google Earth



Figura 99 Ras al Khaimah, con indicazione dell'area del Masterplan. Ortofoto da Google Earth

Il nuovo centro ricerche dell'EPFL, chiamato EPFL Middle Est, è parte di un progetto più ampio, ovvero la nuova università internazionale di Ras Al Khaimah, chiamata Knowledge City. L'area oggetto d'intervento è interessata da numerosi altri progetti, come la Gatewaycity e la Medical City. La posizione del Masterplan non è arbitraria: sorge infatti al crocevia tra la Emirates Road e la strada che collega l'aeroporto con la città di Ras Al Khaimah.



Figura 100 Ras al Khaimah. Indicazione dei progetti esistenti nell'area[23]

3.1 IL PRIMO APPROCCIO BIOCLIMATICO

Nel primo capitolo sono stati analizzati i migliori metodi da seguire per un approccio bioclimatico in clima desertico. Di seguito vengono elencati gli elementi fondamentali, in accordo con gli scritti di Baruch Givoni e con l'architettura tradizionale.

La radiazione solare

La radiazione solare è fonte di discomfort alla latitudine a progetto, per questo motivo è importante ridurla, grazie ad una corretta orientazione degli edifici, Nord- Sud ed aperture

prevalentemente a Sud, in modo da garantire una corretta illuminazione invernale, ed una ridotta illuminazione nei mesi estivi.

I venti

La ventilazione naturale è uno dei fattori chiave nella progettazione bioclimatica: gli edifici devono essere posizionati perpendicolarmente alla direzione prevalente del vento, creando una corrente d'aria all'esterno ed all'interno degli edifici.

Topografia

Negli Emirati Arabi le precipitazioni sono ridotte, per questo motivo bisogna massimizzare la raccolta dell'acqua piovana, e creare un sistema di drenaggio per l'acqua nel terreno.

Strade

Per garantire un confort adeguato ai pedoni, è importante che le strade siano ombreggiate. Questo obbiettivo può essere raggiunto in svariati modi, come visibile dall'immagine sottostante, tramite arcate, alberi, atrium, aggetti dei piani superiori.

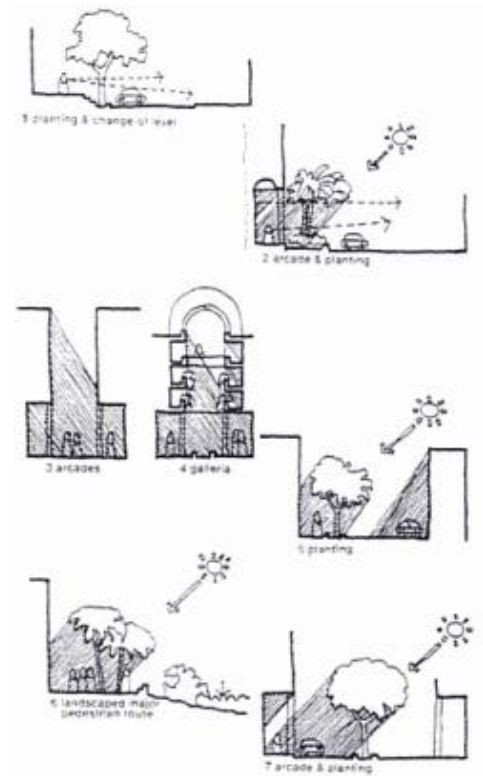


Figura 101 Elementi di protezione ed ombreggiamento delle corti interne e delle strade. [1]

Case a corte

Le abitazioni a corte sono parte dell'archetipo arabo. Esse garantiscono una buona ventilazione naturale degli edifici, riducendo la radiazione solare. Esiste inoltre un rapporto tra l'altezza degli edifici e la larghezza delle corti, che non deve eccedere il rapporto di 1:3, e l'asse più lungo deve essere perpendicolare alla direzione prevalente del vento.

Gli elementi bioclimatici sopra elencati sono un riassunto del primo capitolo, e verranno utilizzati come linee guida nei diversi Masterplan che verranno di seguito presentati. L'obbiettivo del progetto è infatti la proposta di un masterplan bioclimatico, in grado di rispondere alle esigenze Minergie, applicate ad un campus universitario.

L'area a progetto è definita come da documentazione fotografica: il sito è un'area desertica lontana dal centro abitato. La colorazione della sabbia è rosso- rosea, poiché il deserto è composto da loess.

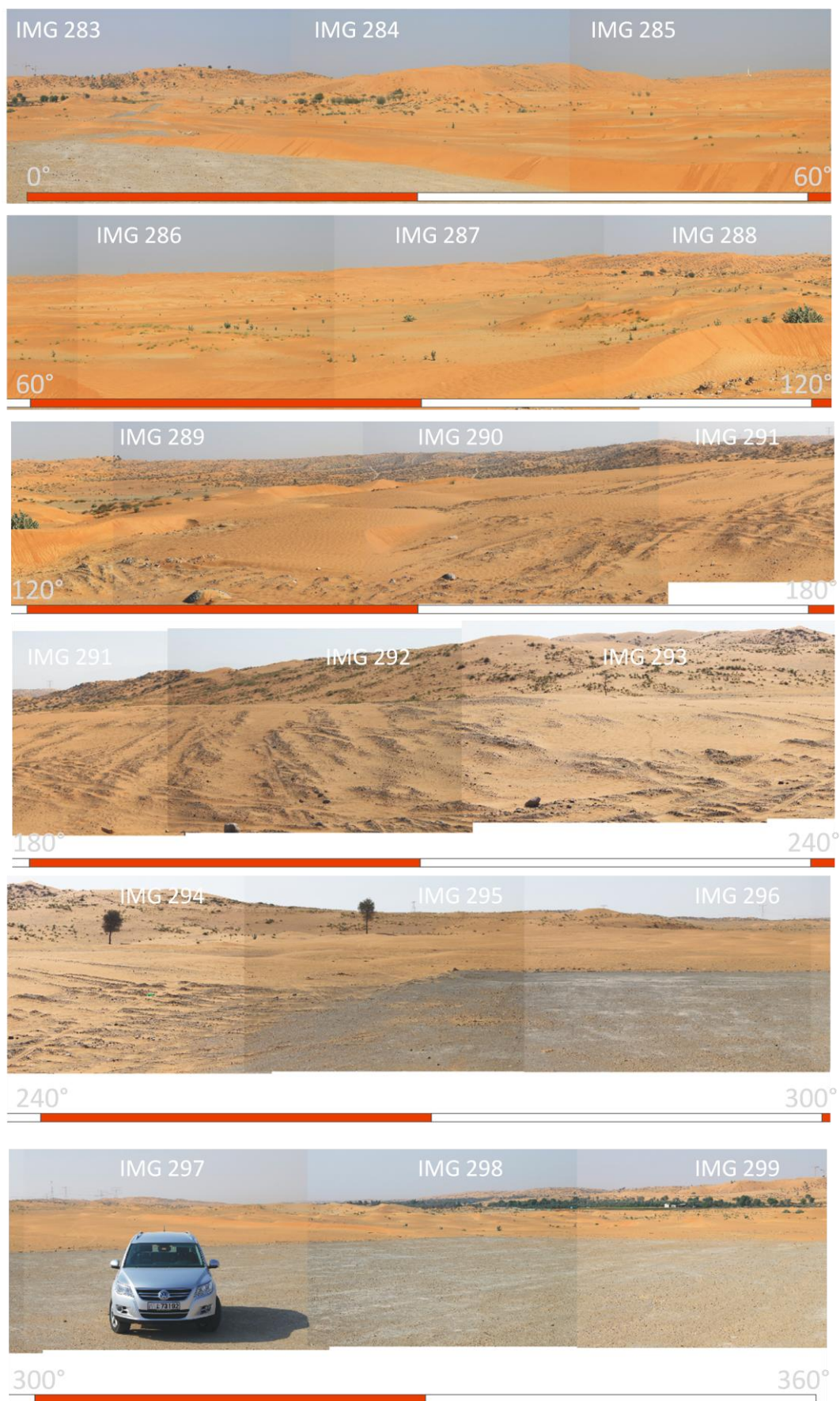


Figura 102 Immagini panoramiche del sito. Foto concesse confidenzialmente da Franco Vigliotti

3.2 MASTERPLAN A

Il primo masterplan è stato progettato a partire dalla costellazione del Cancro, la quale crea il tessuto stradale di collegamento tra i diversi edifici. Ogni funzione risulta identificata da una stella, per cui *Decapoda* indica i laboratori, *Asellus Australis* l'area sociale ed il centro formativo, *Acubens* l'area sportiva, e *Tarf* la residenza.

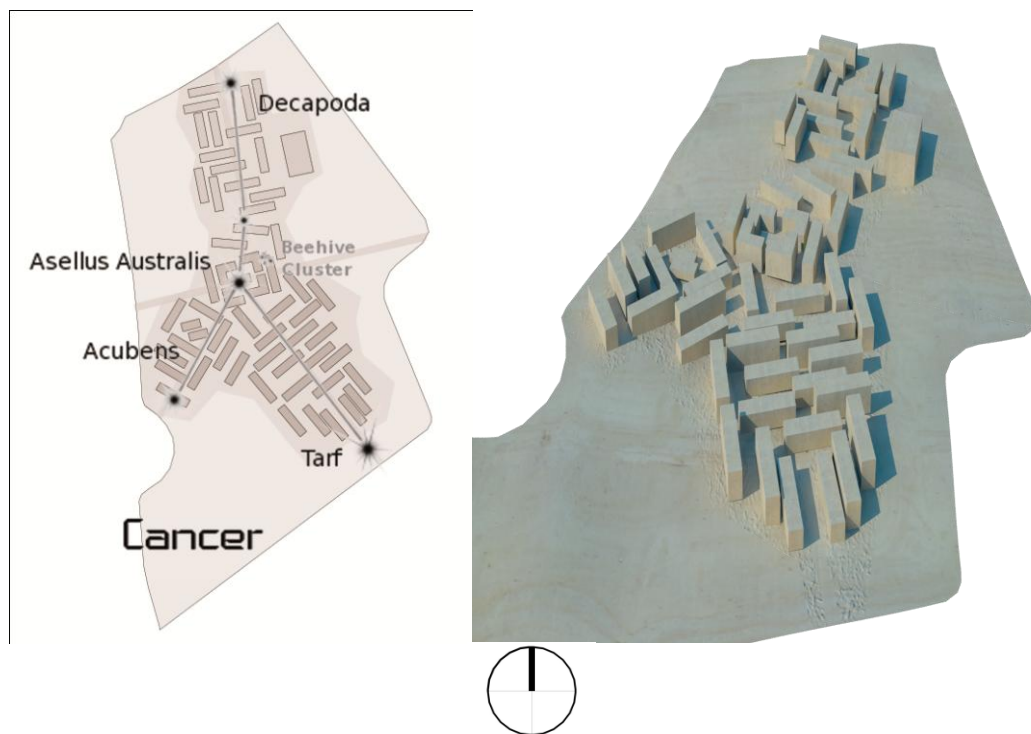


Figura 103 Masterplan A. Concept e volumetrico

3.2.1 APPROCCIO BIOCLIMATICO

I seguenti elementi riassumono la ricerca bioclimatica del progetto.

- Gli edifici esterni sono più alti di quelli interni, proteggendoli dal sole e dal vento.
- Le strade attraversano gli edifici, sono quindi parzialmente ombreggiate dagli stessi.
- Le strade sono irregolari, aumentando la privacy e creando svariate prospettive durante il percorso.
- Gli edifici sono semplici rettangoli, e solo le aree a funzione sociale si presentano a corte.
- Vi è una netta riduzione della distanza tra gli edifici lungo l'asse Est- Ovest, secondo la proporzione di 1:5 (larghezza- altezza), come sostiene Givoni, ed aumentandola lungo l'asse Nord- Sud, in proporzione 2:1.
- Gli edifici esposti a Sud, ovvero al vento nel mese di Agosto, presentano poche aperture.
- La vegetazione è stata posizionata all'esterno ed interno del masterplan, in modo da ridurre l'infiltrazione di sabbia provocata dal vento, ma nello stesso tempo migliorare il confort termico igrometrico.

3.2.2 LE FUNZIONI



Figura 104 Masterplan A. Le funzioni

Dr. F. VIGLIOTTI

Laboratori ed infrastrutture: 32,000.00 [m²]

Learning+ social area: 15,200.00 [m²]

Residenza: 22,000.00 [m²]

Sport: 20,000.00 [m²]

Totale: 89,200.00 [m²]

MASTERPLAN

Laboratori ed infrastrutture: 32,100.00 [m²]

Learning+ social area: 15,250.00 [m²]

Residenza: 21,600.00 [m²]

Sport: 20,400.00 [m²]

Totale: 89,350.00 [m²]

3.2.3 VISTE

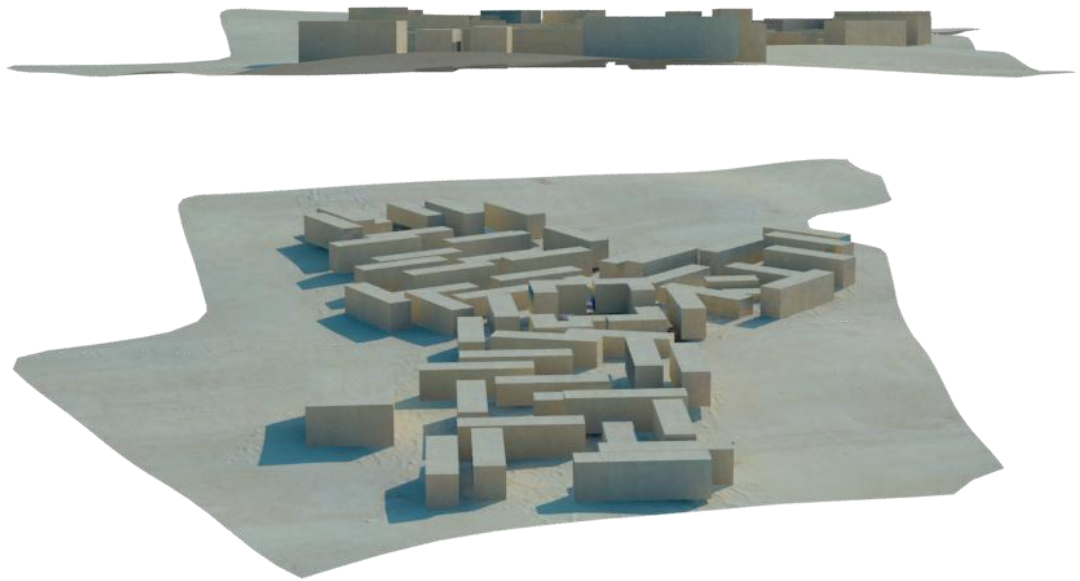


Figura 105 Masterplan A. Vista da Nord

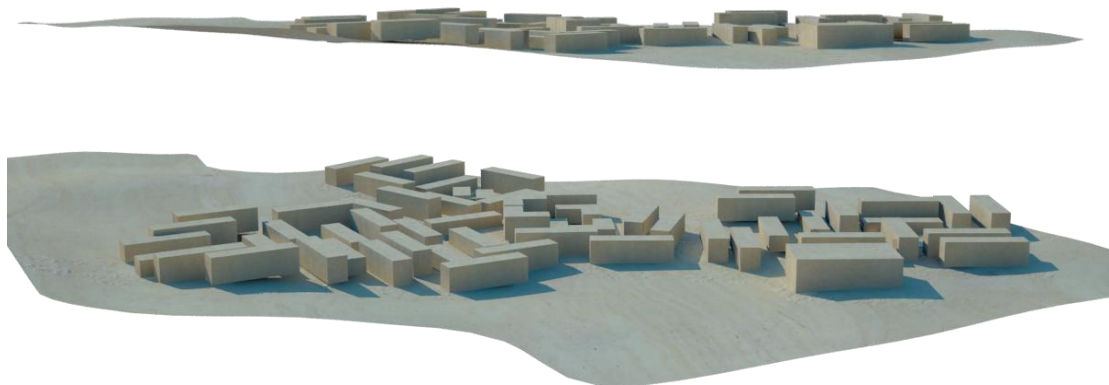


Figura 106 Masterplan A. Vista da Est



Figura 107 Masterplan A. Vista da Ovest

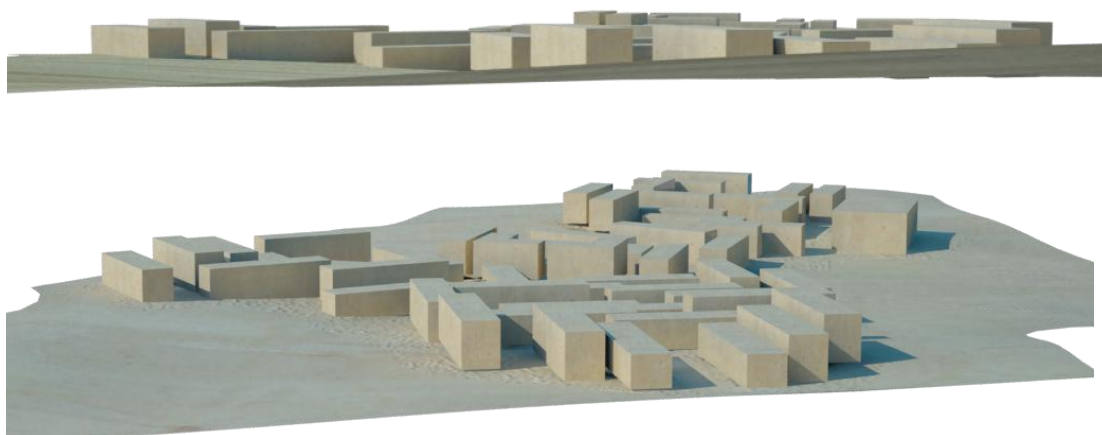


Figura 108 Masterplan A. Vista da Sud

3.2.4 IMMAGINI DEL PROGETTO



Figura 109 Masterplan A. Vista sulla via centrale. Dettaglio

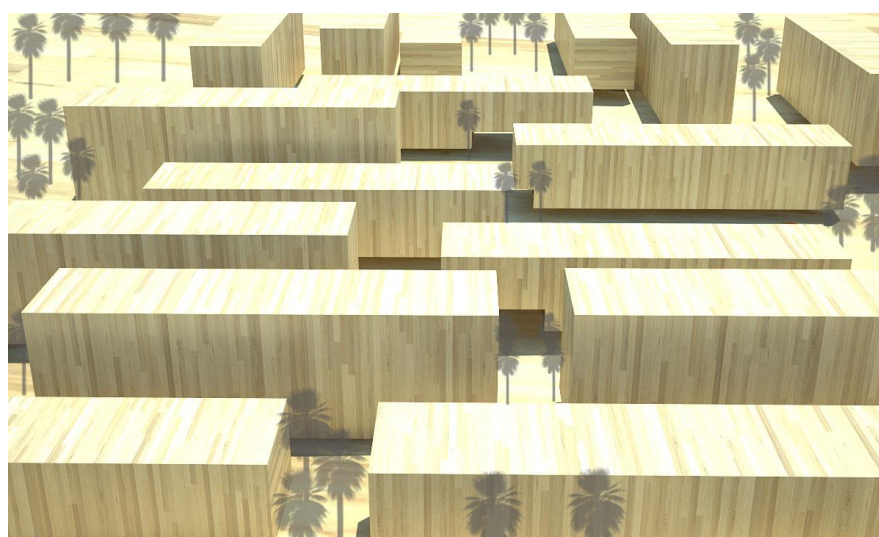


Figura 110 Masterplan A. Vista sulla via centrale

3.3 MASTERPLAN B

Il Masterplan B è stato sviluppato a partire dal concept di Masdar: sono stati infatti disegnati due rettangoli, circondati da un'area verde, distribuendo gli edifici secondo i criteri givoniani e la direzione del vento. Gli edifici sono stati posizionati perpendicolarmente al vento di Nord- Ovest e Sud, per garantire un raffrescamento naturale degli stessi, ma ipotizzando degli elementi in grado di proteggerli dalla sabbia trasportata dai venti.

Come si può leggere nelle rose del vento sottostanti, i venti principali provengono da Nord- Ovest, ovvero la brezza marina, con velocità media massima nel mese di luglio, pari a 2.73 [m/s]. Il vento da Sud, invece, sferza nel mese di agosto, con un'intensità pari a 4.57 [m/s], ovvero classificabile come una brezza tesa.

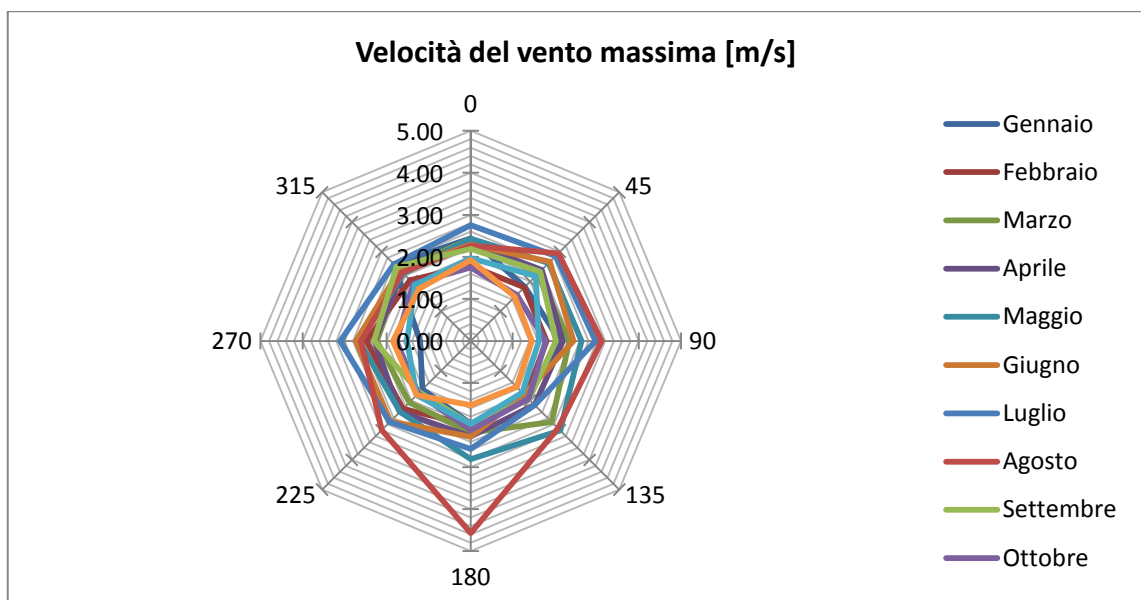


Figura 111 Ras Al Khaimah. Rosa del vento, con l'indicazione della velocità del vento [m/s] e la sua direzione. I dati sono stati calcolati per mezzo del software Meteonorm e rielaborati su excel

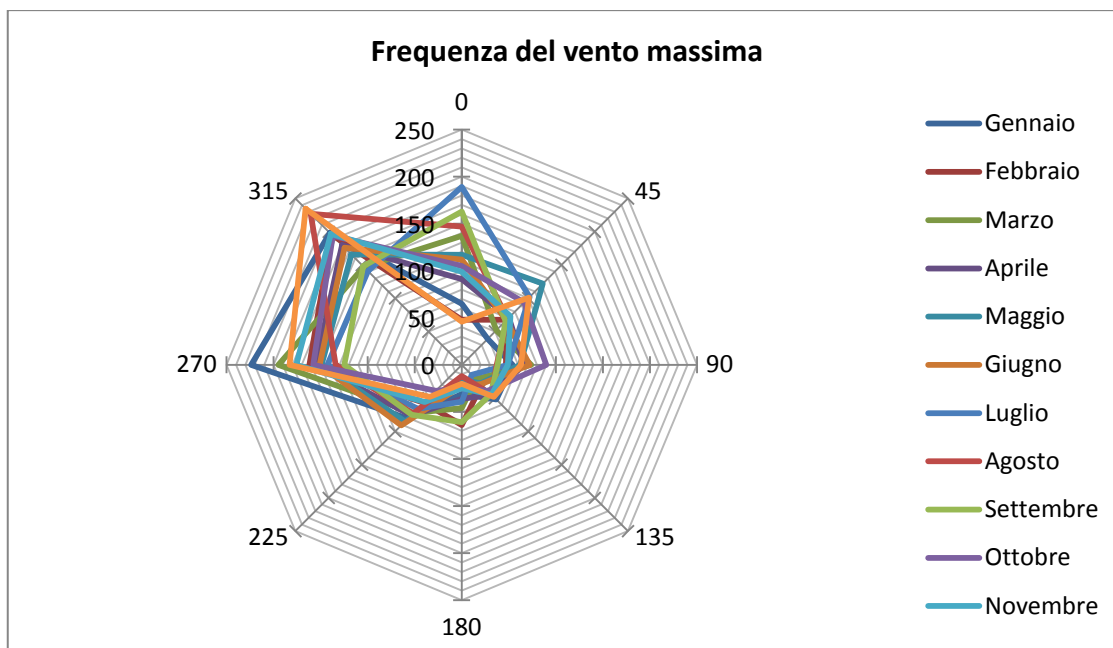


Figura 112 Ras Al Khaimah. Rosa del vento, con l'indicazione della frequenza del vento, e la sua direzione. I dati sono stati calcolati per mezzo del software Meteonorm e rielaborati su excel

Tabella 31 Al Khaimah. Velocità del vento [m/s] e frequenza massima. I dati sono stati calcolati per mezzo del software Meteonorm

Mesi	Velocità del vento max [m/s]		Frequenza max	
	Velocità del vento [m/s]	Direzione [°]	Velocità del vento [m/s]	Direzione [°]
Gennaio	2.59	NW	1.21	W
Febbraio	2.48	W	2.04	NW
Marzo	2.72	SE	2.23	W
Aprile	2.39	NE SW	2.31	NW
Maggio	3.01	SE	2.27	NW
Giugno	2.73	W	2.39	NW
Luglio	3.11	W	2.76	N
Agosto	4.57	S	2.31	NW
Settembre	2.49	NW	2.19	N
Ottobre	2.12	S	1.93	NW
Novembre	2.19	NE	1.88	NW
Dicembre	1.92	N	1.75	NW

Tabella 32 Ras Al Khaimah. Velocità del vento durante le differenti ore del giorno, media annuale. I dati sono stati calcolati per mezzo del software Meteonorm e rielaborati su excel

Parte del giorno	Velocità del vento [m/s]
Notte_ prima mattina [0.00- 08.00 h]	1.59
Giorno [8.00- 18.00 h]	2.78
Sera_ notte [18.00- 0.00]	1.97

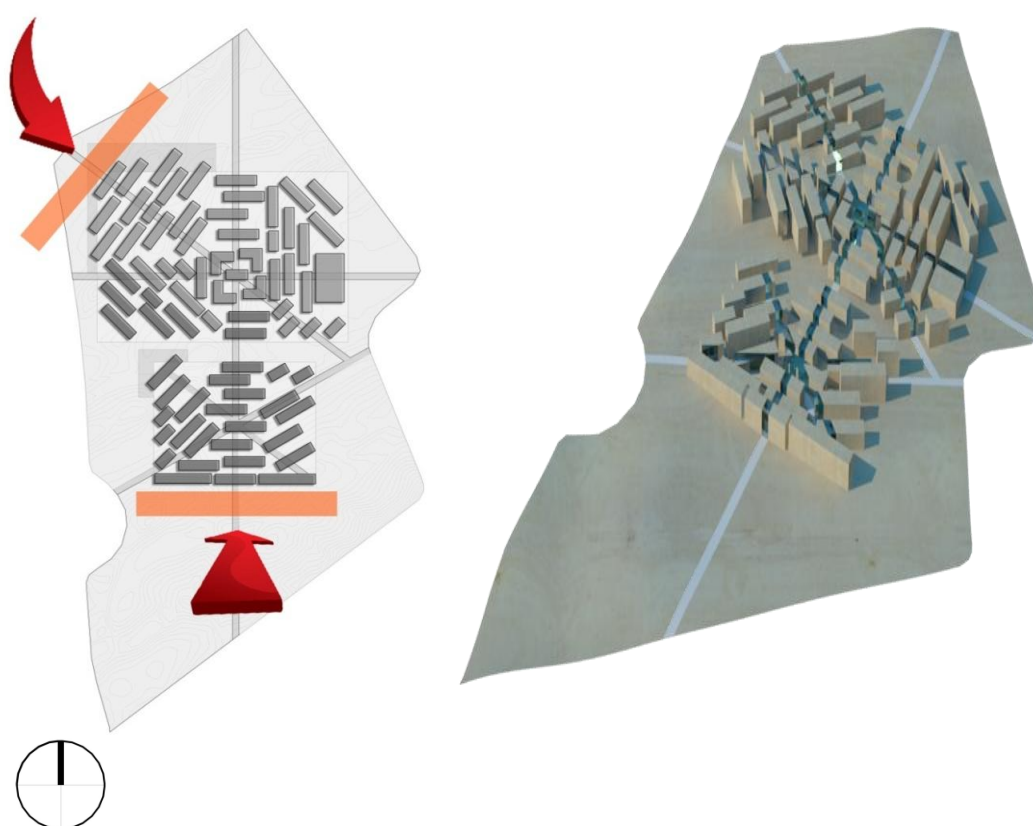


Figura 113 Masterplan B. Concept

Gli edifici sono perpendicolari alle direzioni principali del vento, vengono attraversati dalle strade, che li tagliano creando degli spazi a tutta altezza, degli atrium, in grado di convogliare l'aria fresca all'interno degli edifici. Alla base degli edifici verranno posizionate delle vasche contenenti acqua per umidificare e rinfrescare l'aria.

3.3.1 APPROCCIO BIOCLIMATICO

I seguenti elementi riassumono la ricerca bioclimatica del progetto.

- Gli edifici esterni sono più alti di quelli interni, proteggendoli dal sole e dal vento.

- Le strade attraversano gli edifici, creando atrium a tutta altezza per rinfrescare gli edifici.
- Le strade sono regolari, e tendono ad incanalare il vento, per trasportare la brezza nel campus.
- Gli edifici sono semplici rettangoli, e solo le aree a funzione sociale si presentano a corte.
- Vi è una netta riduzione della distanza tra gli edifici lungo l'asse Est- Ovest, secondo la proporzione di 1:5 (larghezza- altezza), come sostiene Givoni, ed aumentandola lungo l'asse Nord- Sud, in proporzione 2:1.
- Gli edifici esposti a Sud, ovvero al vento nel mese di Agosto, presentano poche aperture.
- La vegetazione è stata posizionata all'esterno ed interno del masterplan, in modo da ridurre l'infiltrazione di sabbia provocata dal vento, ma nello stesso tempo migliorare il confort termo igrometrico.

3.3.2 LE FUNZIONI

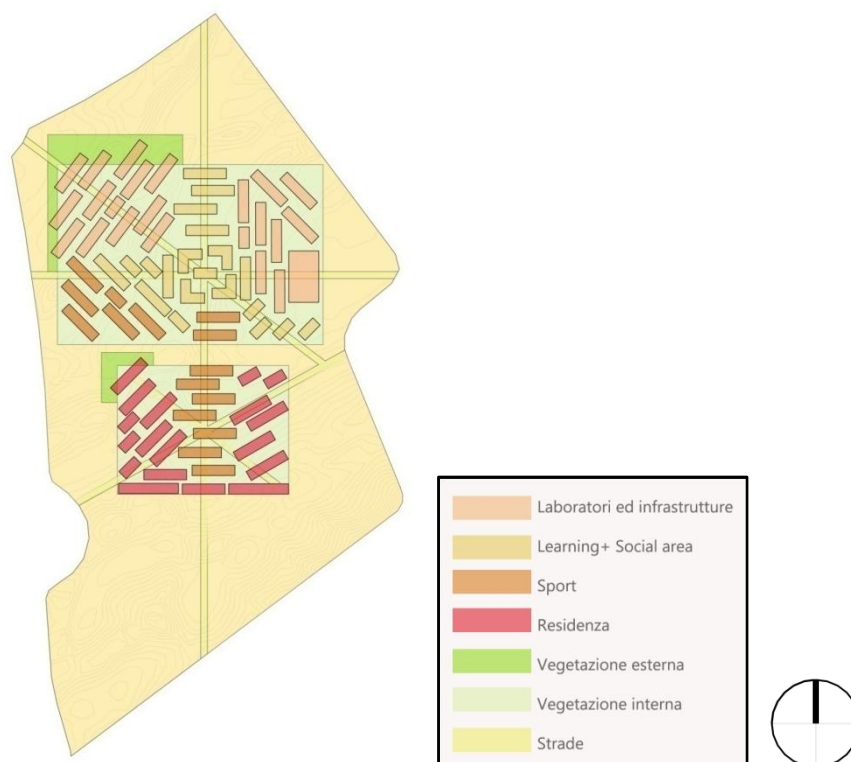


Figura 114 Masterplan B. Funzioni

VIGLIOTTI

Laboratori ed infrastrutture: 32,000.00 [m²]

Learning+ social area: 15,200.00 [m²]

Residenza: 22,000.00 [m²]

Sport: 20,000.00 [m²]

Totale: 89,200.00 [m²]

MASTERPLAN

Laboratori ed infrastrutture: 33,768.00 [m²]

Learning+ social area: 16,380.00 [m²]

Residenza: 22,560.00 [m²]

Sport: 18,372.00 [m²]

Totale: 91,080.00 [m²]

3.3.3 VISTE

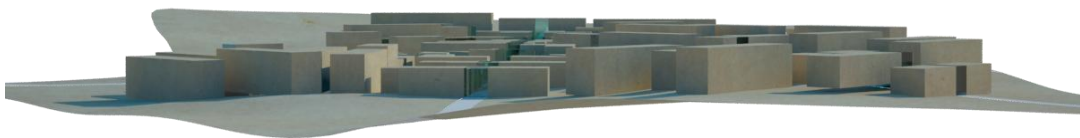


Figura 115 Masterplan B. Vista da Nord



Figura 116 Masterplan B. Vista da Est



Figura 117 Masterplan B. Vista da Ovest



Figura 118 Masterplan B. Vista da Sud

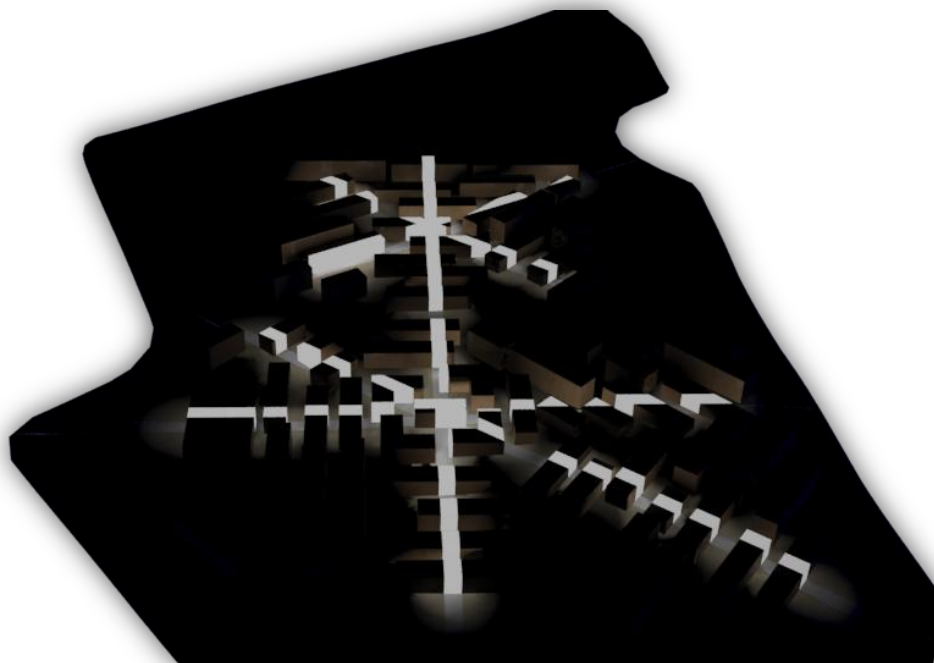


Figura 119 Masterplan B. Percezione notturna

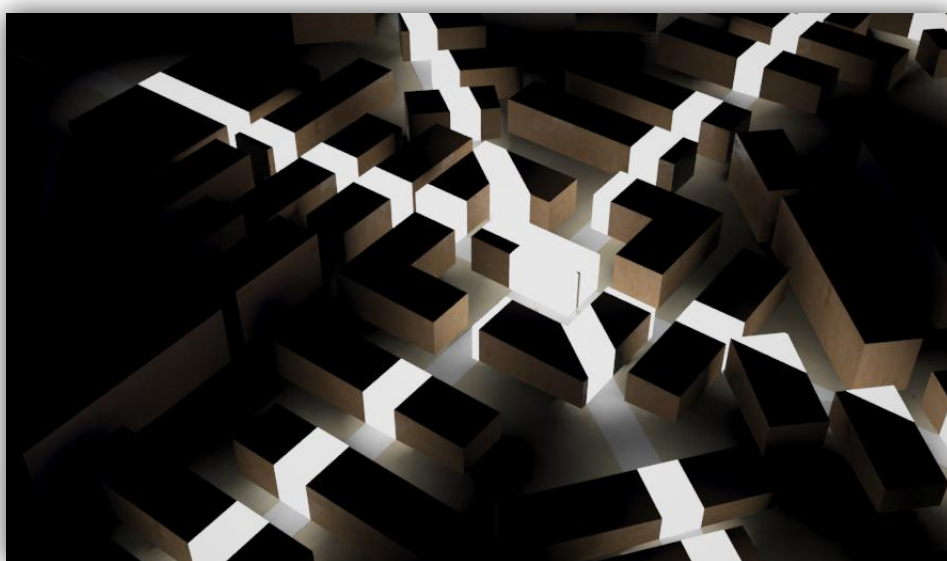


Figura 120 Masterplan B. Percezione notturna e dettaglio della corte centrale

4.0 CITYSIM E L'APPROCCIO BIOCLIMATICO DEL PROGETTO

In questa tesi è stato interessante l'unione di diversi approcci progettuali per ottenere il masterplan: da un lato è stata analizzata l'architettura tradizionale araba, dalla casa corte ai caravan serraglio, cercando di comprendere come le persone vivono e percepiscono gli spazi, come l'utilizzo dei tetti durante la notte, in quanto unico luogo fresco e ventilato. Il secondo approccio è stato lo studio della teoria scientifica bioclimatica, con a capo Baruch Givoni, cercando di definire delle linee guida per la costruzione, legate ai materiali, alla disposizione degli edifici in base alla direzione del vento. Infine l'ultimo approccio è stato l'utilizzo del software CitySim, per definire la forma ottimale degli edifici in questa zona desertica di Ras Al Khaimah, studiando come la disposizione degli edifici incide sul fabbisogno energetico degli stessi, come posizionare le aperture, o definire la trasmittanza dei muri.

4.1 STUDIO MORFOLOGICO_ STUDIO DEL NUMERO DEI PIANI E DELLE APERTURE SUL TETTO

La prima simulazione ha riguardato lo studio dell'area centrale del Masterplan A. Quest'area era infatti caratterizzata da un'architettura di differenti altezze: dai tre piani esterni, al singolo piano negli edifici interni alla corte. La prima ipotesi della simulazione riguarda la presenza o assenza di finestre sul tetto. Il concetto per cui sono state posizionate è connesso con la ventilazione notturna: le aperture sul tetto permettono di innescare immediatamente un flusso ascendente d'aria nei locali surriscaldati. Dalla simulazione però vedremo che la presenza di una superficie vetrata, con una trasmittanza pari a $1.00 \text{ [W/m}^2\text{K]}$, incide in maniera negativa sul fabbisogno energetico dell'edificio.



Figura 121 Masterpan A. Social area

La seconda ipotesi riguarda invece il numero dei piani, definendo che un edificio di tre piani consuma molto meno di un edificio di un solo piano, proprio perché massimizza il volume interno minimizzando le superfici esterne.

PROPRIETÀ DELL'EDIFICIO

Infiltrazioni d'aria [orarie]: 0.05

Tmin [°C]: 5

Tmax [°C]: 26

Profilo della temperatura in base agli occupanti: nessuno

Numero massimo di occupanti: 0

Profilo di occupazione: nessuno

REGOLAZIONE TERMICA DELL'EDIFICIO

HVAC: no HVAC

Inizio riscaldamento [giorno]: 1

Fine riscaldamento [giorno]: 365

Fonte di riscaldamento: cogenerazione

Fonte di raffrescamento: pompa di calore

Inizio raffrescamento [giorno]: 1

Fine raffrescamento [giorno]: 365

COGENERAZIONE

Il sistema utilizzato è della ditta Dachs, modello G5.5, con gas naturale

Potenza massima [W]: 14,800.00

η_{el} : 0.27

η_{tech} : 0.72

POMPA DI CALORE

Potenza massima [W]: 372,100.00

COP: 4.00

η_{tech} : 0.25

$$\eta_{carnot} = \frac{(10+273.15)}{((10+273.15)-(28+273.15))}$$

$$\Delta T = 15[^\circ\text{C}]$$

Sorgente: aria

PROPRIETÀ TERMICHE DEI MURI

Short wave reflectance: 0.20

Percentuale di superficie vetrata_ esposizione Est- Ovest, lato deserto [%]: 0.20

Percentuale di superficie vetrata_ esposizione Nord- Sud, lato interno al masterplan [%]: 0.50

Valore G del vetro : 0.05

Trasmittanza termica serramento U [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]: 1.00

Pannelli fotovoltaici [%]: 0.40

MURI ESTERNI

Trasmittanza termica $U = 0.15$ [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

Tabella 33 Edificio per uffici. Composizione dei muri esterni. Esterno- interno.

Nome	l [m]	p [Kg/m^3]	k [$\text{W}/\text{m}^\circ\text{C}$]	Cp [$\text{J}/\text{Kg}^\circ\text{C}$]
Intonaco	0.02	600	0.29	840
Isolante	0.25	30	0.04	840
Laterizio	0.12	2000	0.9	840
Intonaco	0.01	600	0.29	840

Dove

l: spessore [m]

p: massa volumica [Kg/m^3]

k: conducibilità termica [$\text{W}/\text{m}^\circ\text{C}$]

Cp: calore specifico [$\text{J}/\text{Kg}^\circ\text{C}$]

PROPRIETÀ TERMICHE DEI SOLAI ESTERNI

Short wave reflectance: 0.20

Percentuale di superficie vetrata [%]: 0.20

Valore G del vetro : 0.05

Trasmittanza termica serramento U [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]: 1.00

Pannelli fotovoltaici [%]: 0.50

Trasmittanza termica U [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]: 0.15

RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

Tabella 34 Studio morfologico. Edifici con finestre sui tetti

Edificio	Area	Fabbisogno per il raffrescamento[kWh/m ²]	Fabbisogno per il riscaldamento[kWh/m ²]	Piani	Differenza [%]
19	1800	-31.27	2.66	3	-6.67
20	1056	-47.30	3.19	2	-61.34
21	1056	-35.79	3.40	2	-22.09
22	1800	-29.33	2.92	3	-0.04
23	324	-55.40	7.01	1	-88.98
24	1584	-40.96	2.40	3	-39.71
25	1584	-31.03	2.81	3	-5.85
26	1200	-32.81	3.56	2	-11.92
27	1800	-29.32	2.91	3	0.00
28	323	-55.66	7.00	1	-89.85
29	323	-55.37	6.77	1	-88.88
30	1200	-33.15	3.66	2	-13.09
31	1200	-33.39	3.52	2	-13.91

Tabella 35 Studio morfologico. Edifici senza le finestre sui tetti

Edificio	Area	Fabbisogno per il raffrescamento [kWh/m ²]	Differenza [%]	Fabbisogno per il riscaldamento [kWh/m ²]	Differenza [%]
19	1800	-28.78	7.98	2.37	11.10
20	1056	-43.51	8.01	2.71	15.06
21	1056	-32.06	10.44	2.95	13.12
22	1800	-26.85	8.45	2.63	9.87
23	324	-47.86	13.62	6.08	13.25
24	1584	-38.45	6.13	2.09	12.85
25	1584	-28.54	8.04	2.51	10.61
26	1200	-29.10	11.30	3.13	11.96
27	1800	-26.84	8.44	2.63	9.76
28	323	-48.11	13.55	6.07	13.27
29	323	-47.83	13.62	5.84	13.76
30	1200	-29.45	11.19	3.23	11.66
31	1200	-29.68	11.12	3.09	12.24

Nelle tabelle 34 e 35 è possibile leggere le diverse consumazioni energetiche degli edifici, comprese tra il 6 e 14 [%], con una riduzione dei consumi negli edifici senza aperture sul tetto. Gli edifici con una consumazione massima sono i numeri 23, 28 e 29, con un consumo per raffrescare superiore a 47 [kWh/m²]. Questi edifici sono tutti ad un solo piano, il che dimostra che per una progettazione ottimale è meglio aumentare il numero dei piani a due e tre, riducendo gli edifici a solo un piano.

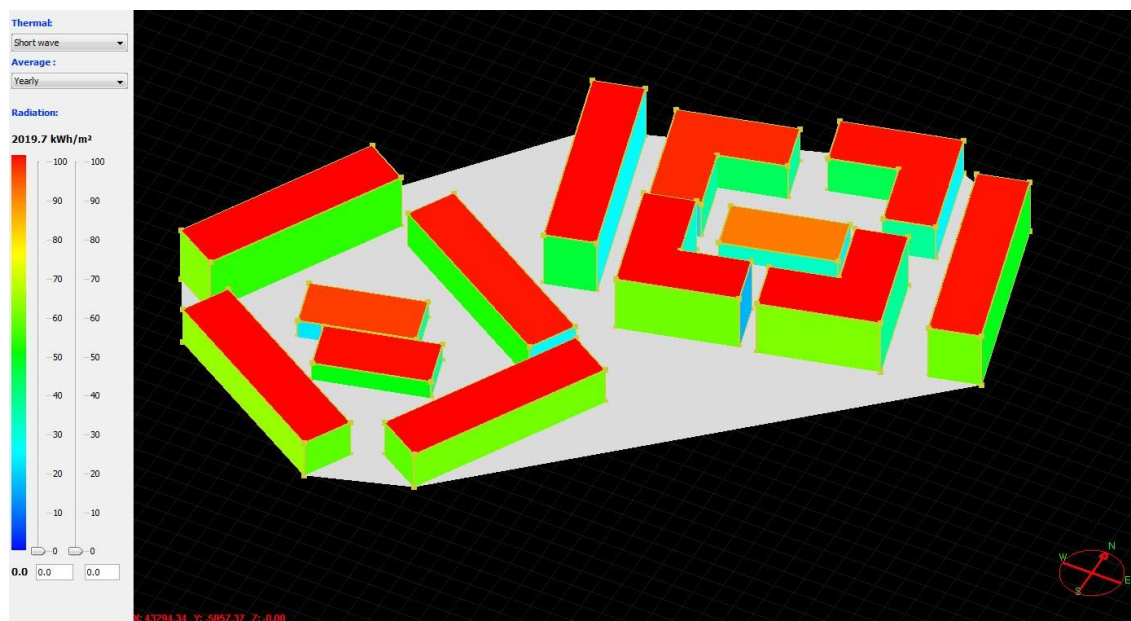


Figura 122 Studio morfologico. Radiazione solare sugli edifici. Valore massimo 2020 [kWh/m²]

4.2 STUDIO MORFOLOGICO. LA PIANTA DEGLI EDIFICI

In questo paragrafo sono state studiate diverse tipologie di piante, analizzando se la forma e l'orientazione incidono sul fabbisogno energetico dell'edificio. Per questo motivo sono state definite quattro diverse piante, orientate Nord- Sud e Est- Ovest, come visibile nell'immagine sottostante. Gli edifici sono stati simulati nella prima fase di due piani, nella seconda di tre.

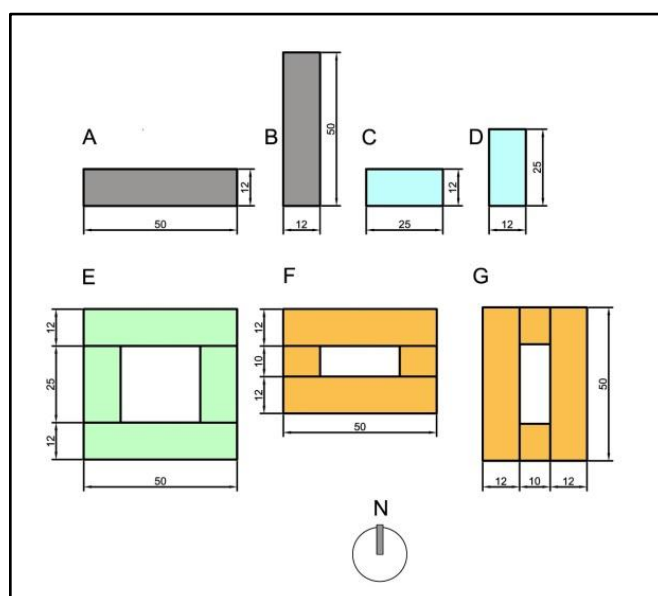


Figura 123 Studio morfologico. Le piante analizzate

La prima tipologia, A e B, sono due edifici lunghi 50 [m] e larghi 12 [m], la seconda tipologia C e D, sono larghi 25 [m] e lunghi 12 [m], entrambi orientati Nord- Sud e Est-

Ovest. La terza e quarta tipologia sono due case a corte, E lungo 50 [m] con larghezza pari a 12 [m], mentre F e G hanno una pianta di 50 [m] * 34 [m].

PROPRIETÀ DELL'EDIFICIO

Infiltrazioni d'aria [orarie]: 0.05

T_{min} [°C]: 5

T_{max} [°C]: 26

Profilo della temperatura in base agli occupanti: nessuno

Numero massimo di occupanti: 0

Profilo di occupazione: nessuno

REGOLAZIONE TERMICA DELL'EDIFICIO

HVAC: no HVAC

Fonte di riscaldamento: cogenerazione

Inizio riscaldamento [giorno]: 1

Fine riscaldamento [giorno]: 365

Fonte di raffrescamento: pompa di calore

Inizio raffrescamento [giorno]: 1

Fine raffrescamento [giorno]: 365

COGENERAZIONE

Il sistema utilizzato è della ditta Dachs, modello G5.5, con gas naturale

Potenza massima [W]: 14,800.00

η_{el} : 0.27

η_{tech} : 0.72

POMPA DI CALORE

Potenza massima [W]: 372,100.00

COP: 4.00

η_{tech} : 0.25

$$\eta_{carnot} = \frac{(10+273.15)}{((10+273.15)-(28+273.15))}$$

$$\Delta T = 15 [^{\circ}C]$$

Sorgente: aria

PROPRIETÀ TERMICHE DEI MURI

Short wave reflectance: 0.20

Percentuale di superficie vetrata_ esposizione Est- Ovest, lato deserto [%]: 0.20

Percentuale di superficie vetrata_ esposizione Nord- Sud, lato interno al masterplan [%]: 0.50

Valore G del vetro : 0.05

Trasmittanza termica serramento U [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]: 1.00

Pannelli fotovoltaici [%]: 0.40

MURI ESTERNI

Trasmittanza termica $U = 0.15$ [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

Tabella 36 Edificio per uffici. Composizione dei muri esterni. Esterno- interno.

Nome	l [m]	p [Kg/m^3]	k [$\text{W}/\text{m}^\circ\text{C}$]	Cp [$\text{J}/\text{Kg}^\circ\text{C}$]
Intonaco	0.02	600	0.29	840
Isolante	0.25	30	0.04	840
Laterizio	0.12	2000	0.9	840
Intonaco	0.01	600	0.29	840

Dove

l: spessore [m]

p: massa volumica [Kg/m^3]

k: conducibilità termica [$\text{W}/\text{m}^\circ\text{C}$]

Cp: calore specifico [$\text{J}/\text{Kg}^\circ\text{C}$]

PROPRIETÀ TERMICHE DEI SOLAI ESTERNI

Short wave reflectance: 0.20

Percentuale di superficie vetrata [%]: 0.00

Pannelli fotovoltaici [%]: 0.50

Trasmittanza termica U [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]: 0.15

4.2.1 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI_ EDIFICI A DUE PIANI

In questa simulazione gli edifici sono costituiti da due piani fuori terra; l'edificio con la massima consumazione energetica è la tipologia C, con un consumo per raffrescamento pari a 36.95 [kWh/m²], mentre l'edificio con la minima consumazione è la tipologia E, con un valore pari a 28.97 [kWh/m²].

Tabella 37 Studio morfologico. Consumazione energetica per edifici a due piani

	Tipologia A	Tipologia C	Tipologia E	Tipologia F
	Orientamento N/S	Orientamento N/S	Orientamento N/S	Orientamento N/S
Riscaldamento [kWh/m ²]	3.05	3.08	2.79	2.67
Raffrescamento [kWh/m ²]	33.75	36.95	28.97	29.32
Area [m ²]	1200	600	3600	2880
Piani	2	2	2	2

4.2.2 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI_ EDIFICI A TRE PIANI

Il miglior risultato nella consumazione energetica spetta agli edifici di tre piani, a corte, ovvero le tipologie E, F e G, con valori compresi tra 26.24 e 26.91 [kWh/m²]. Anche la tipologia B ha un buon risultato, ma esso è spiegabile a causa del limitato numero di aperture, ovvero 20 [%] lungo i prospetti esposti a Est- Ovest. Le case a corte oltre ad avere una buona riduzione nella consumazione energetica, garantiscono anche una buona protezione dalla radiazione solare. Infatti nelle immagini 124- 133 è leggibile l'irradiazione solare sulle superfici, e si può notare la riduzione sulle superfici interne alla corte: la differenza minima è sulle superfici esposte a Nord, con un valore pari a 179.80 [kWh/m²], e la massima sui prospetti esposti ad Ovest, con un valore pari a 682.50 [kWh/m²]. Si può quindi affermare che risulti ottimale posizionare le aperture nelle facciate esposte nella corte, riducendo quelle esposte verso l'esterno. Inoltre vi è una diversa quantità di radiazione solare, che risulta massima lungo i prospetti Ovest e Sud, e ridotta a Nord ed Est. Questa affermazione potrebbe indurre a posizionare la maggior parte delle aperture lungo i prospetti Nord ed Est, affermazione scorretta sia riferendoci agli studi di Givoni, sia analizzando le simulazioni successive: infatti la radiazione solare è alta a Sud, ma soprattutto nei mesi invernali, mentre si concentra a Est ed Ovest nei mesi estivi. Per questo motivo è importante sottolineare che le aperture dovranno essere posizionate maggiormente nei prospetti Nord e Sud, garantendo una protezione dalla radiazione estiva, ma incrementando quella invernale.

Tabella 38 Studio morfologico. Consumazione energetica per edifici a tre piani, ed indicazione della radiazione solare

	Tipologia A	Tipologia B	Tipologia C	Tipologia D	Tipologia E	Tipologia F	Tipologia G
	Orientam ento N/S	Orientam ento E/W	Orientam ento N/S	Orientam ento E/W	Orientam ento N/S	Orientam ento N/S	Orientam ento E/W
Riscaldamento [kWh/m ²]	2.5	1.88	2.68	2.1	2.54	2.23	2.23
Raffrescamento [kWh/m ²]	31.03	25.99	34.44	30.77	26.27	26.91	26.24
Area [m ²]	1800	1800	900	900	5400	4320	4320
Piani	3	3	3	3	3	3	3
Radiazione solare _ Media annuale							
Radiazione solare _ Superfici esterne							
N [kWh/m ²]	532.93	525.7	538.35	532.89	537.79	536.11	531.74
S [kWh/m ²]	1158.27	2407.4	1211.14	1204.26	1148.72	1162.89	1145.87
W [kWh/m ²]	1086.39	1184.15	1183.02	1179.36	1156.91	1147.39	1159.68
E [kWh/m ²]	903.94	977.86	974.46	973.15	961.9	939.82	953.32
Radiazione solare _ Superfici interne							
N [kWh/m ²]					357.99	264.59	242.49
S [kWh/m ²]					838.68	590.71	535.1
W [kWh/m ²]					812.57	563.69	477.15
E [kWh/m ²]					700.11	473.74	550.87
	Tipologia A	Tipologia B	Tipologia C	Tipologia D	Tipologia E	Tipologia F	Tipologia G
	Orientam ento N/S	Orientam ento E/W	Orientam ento N/S	Orientam ento E/W	Orientam ento N/S	Orientam ento N/S	Orientam ento E/W
Copertura [kWh/m ²]	1927.41	2005.84	2006.67	1990.61	1885.36	1850.15	1853.44
Radiazione solare _ Differenza esterno- interno							
N [kWh/m ²]					179.8	271.52	289.25
S [kWh/m ²]					310.04	572.18	610.77
W [kWh/m ²]					344.34	583.7	682.53
E [kWh/m ²]					261.79	466.08	402.45

Nella tabella 39 è visibile la differenza in consumazione energetica tra gli edifici a due e tre piani. La differenza maggiore è registrata nella tipologia E, con il 9 [%] di fabbisogno energetico per raffrescamento in più. Si può quindi affermare che gli edifici a tre piani risultano più compatti, e quindi hanno dei consumi ridotti.

Tabella 39 Studio morfologico. Confronto tra la consumazione energetica per edifici a due e tre piani

	Tipologia A	Tipologia C	Tipologia E	Tipologia F
	Orientamento N/S	Orientamento N/S	Orientamento N/S	Orientamento N/S
Riscaldamento [kWh/m ²]	0.55	0.4	0.25	0.44
Raffrescamento [kWh/m ²]	2.72	2.51	2.7	2.41

Percentuale	Tipologia A	Tipologia C	Tipologia E	Tipologia F
Riscaldamento [%]	18.03	12.99	8.96	16.48
Raffrescamento [%]	8.06	6.79	9.32	8.22

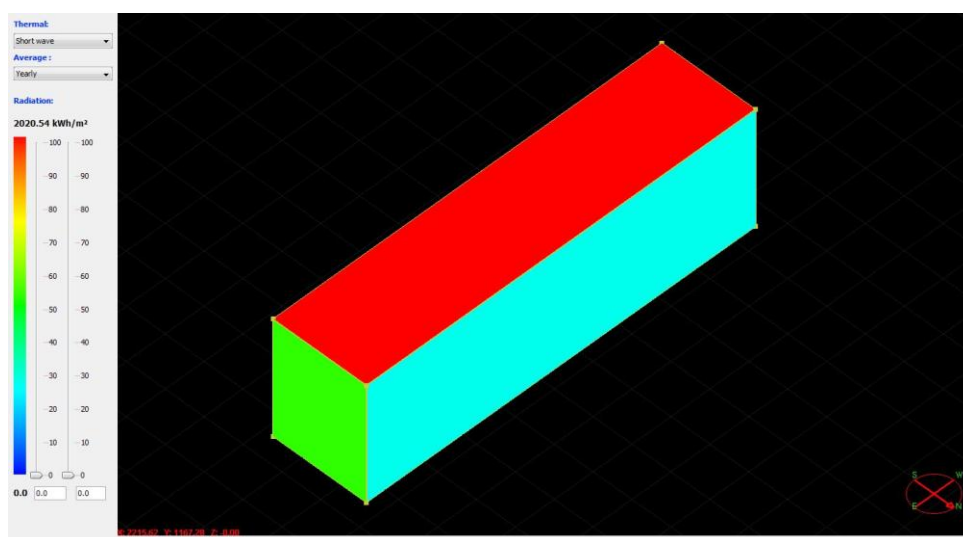


Figura 124 Studio morfologico. Tipologia A. Radiazione solare annuale . Valore massimo 2020 [kWh/m²]

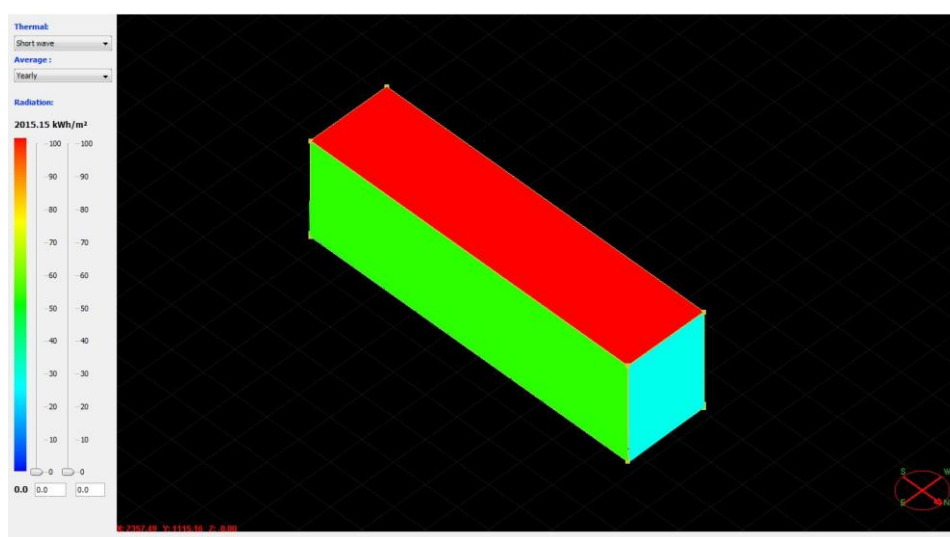


Figura 125 Studio morfologico. Tipologia B. Radiazione solare annuale . Valore massimo 2020 [kWh/m²]

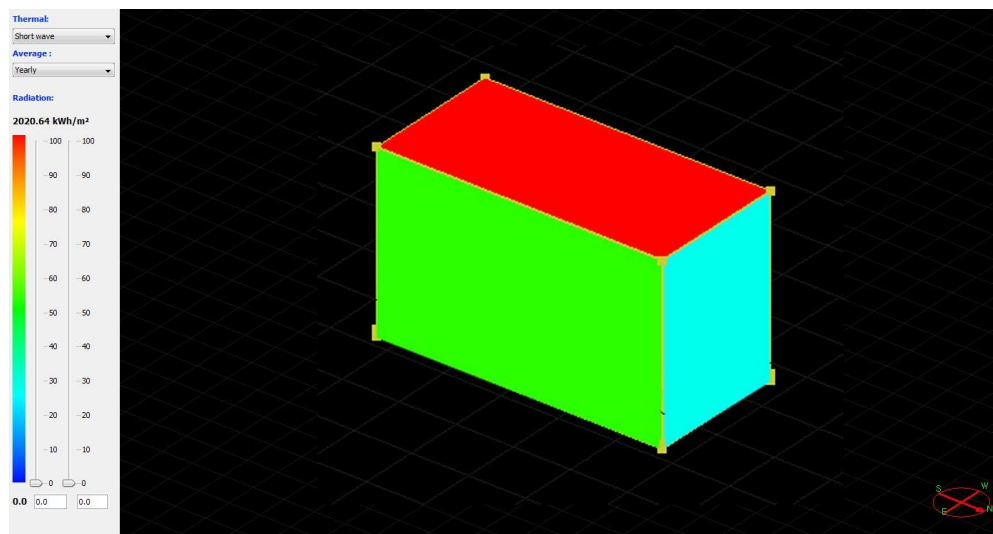


Figura 126 Studio morfologico. Tipologia C. Radiazione solare annuale . Valore massimo 2020 [kWh/m²]

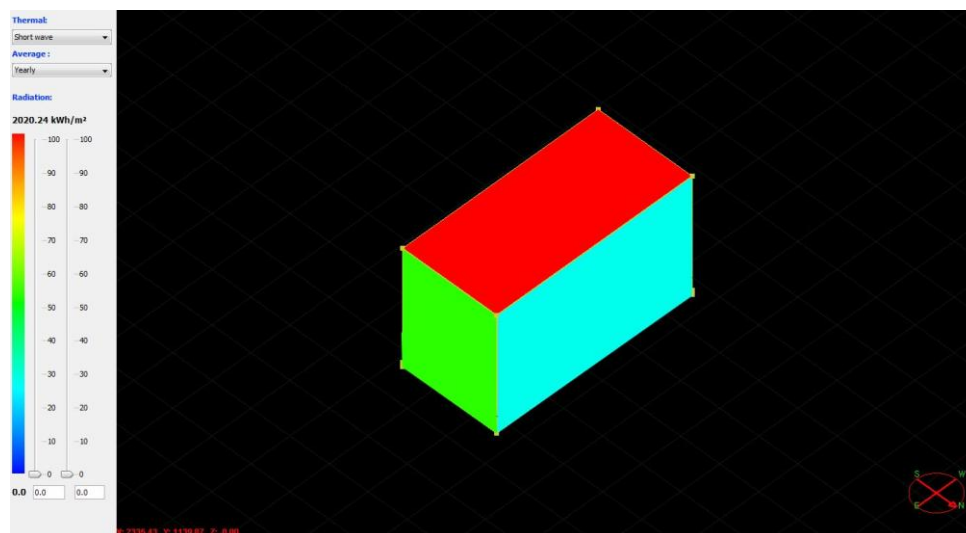


Figura 127 Studio morfologico. Tipologia D. Radiazione solare annuale . Valore massimo 2020 [kWh/m²]

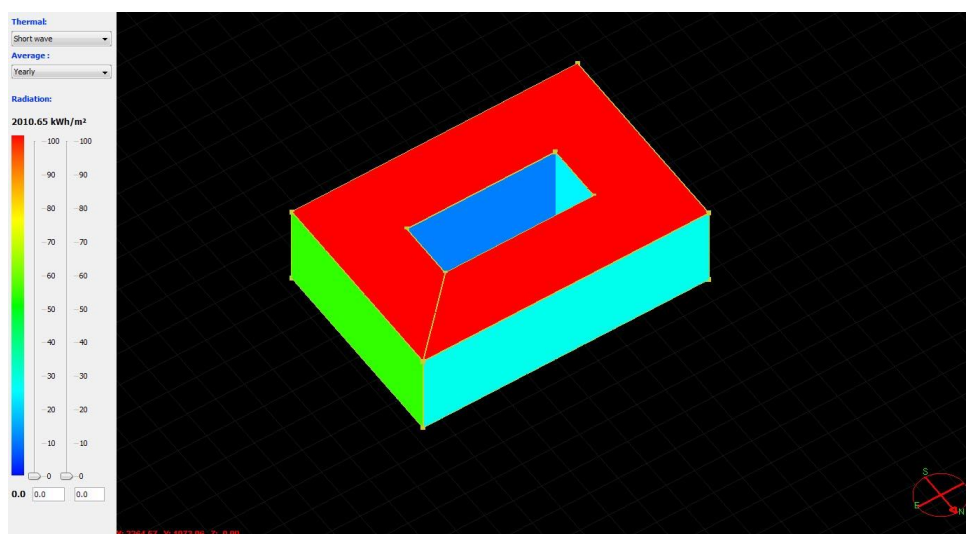


Figura 128 Studio morfologico. Tipologia E. Radiazione solare annuale . Valore massimo 2020 [kWh/m²]

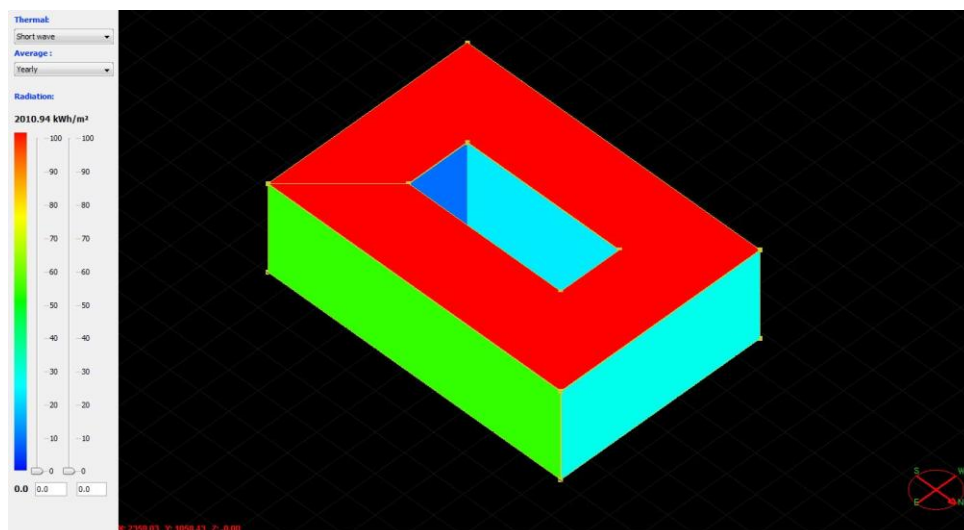


Figura 129 Studio morfologico. Tipologia F. Radiazione solare annuale . Valore massimo 2020 [kWh/m²]

L'elemento più interessante in questa simulazione è la differente radiazione solare sulle superfici interne ed esterne alla corte. Nella prossima simulazione verrà studiata la tipologia F, analizzando l'irradiazione solare sulle superfici nei diversi mesi dell'anno, supportando la teoria di Givoni sulla posizione delle aperture nelle facciate esposte a Nord e Sud.

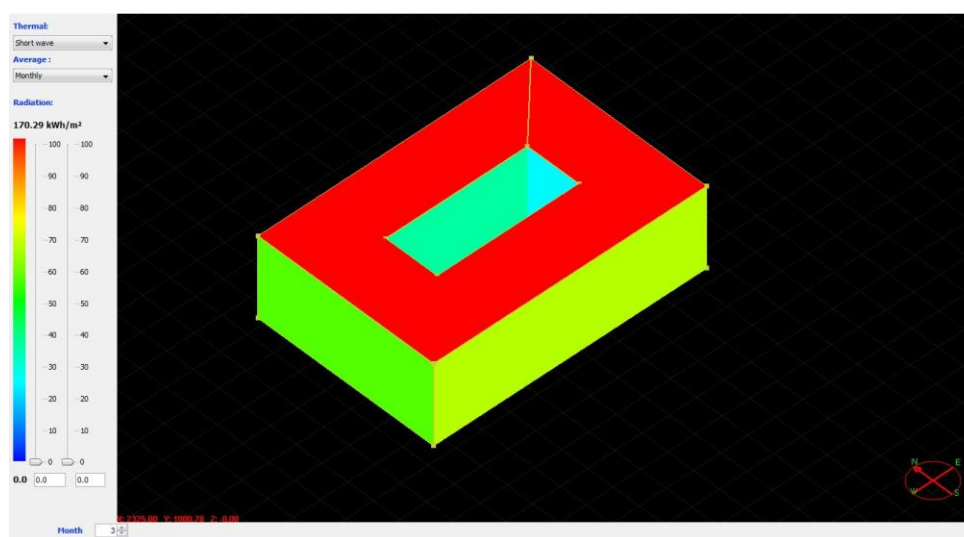


Figura 130 Studio morfologico. Tipologia F. Radiazione solare mensile: marzo . Valore massimo 170 [kWh/m²]

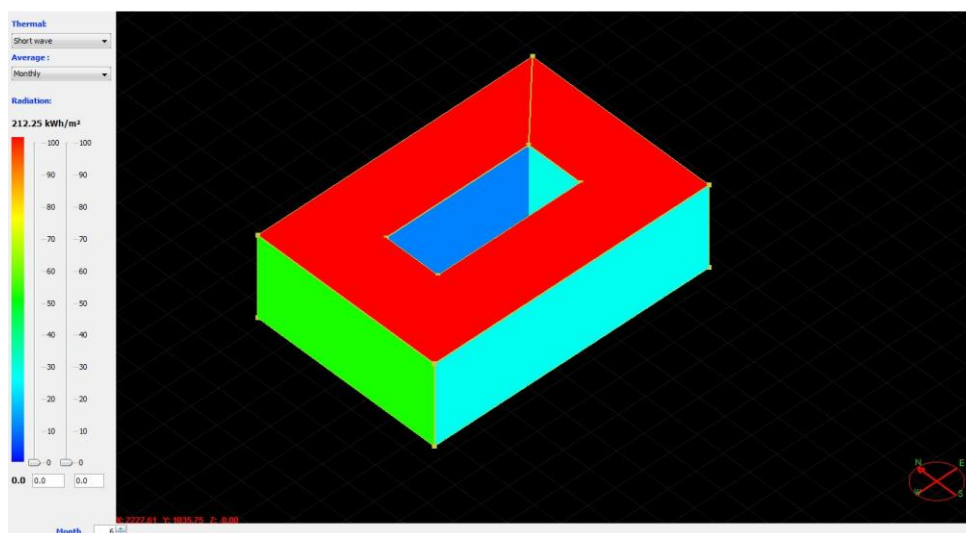


Figura 131 Studio morfologico. Tipologia F. Radiazione solare mensile: giugno . Valore massimo 212 [kWh/m²]

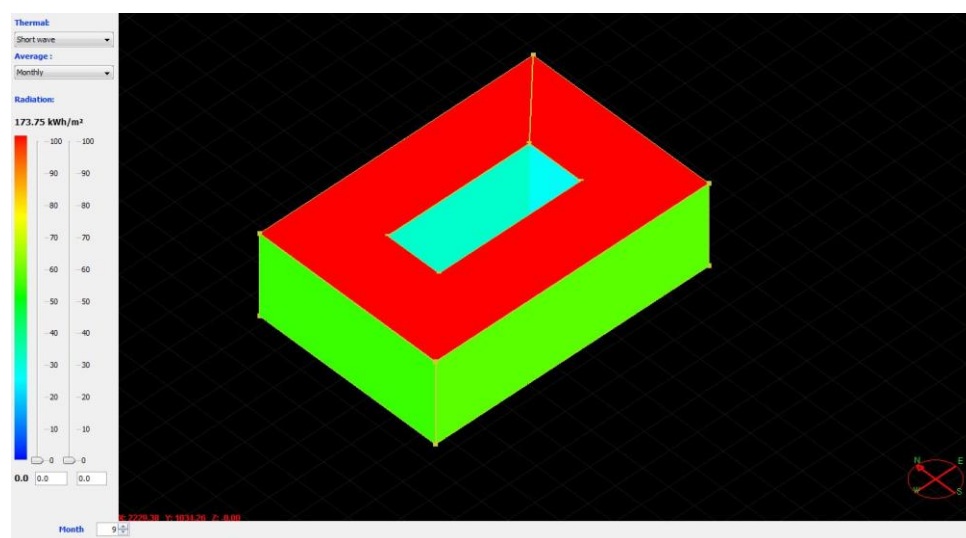


Figura 132 Studio morfologico. Tipologia F. Radiazione solare mensile: settembre . Valore massimo 174 [kWh/m²]

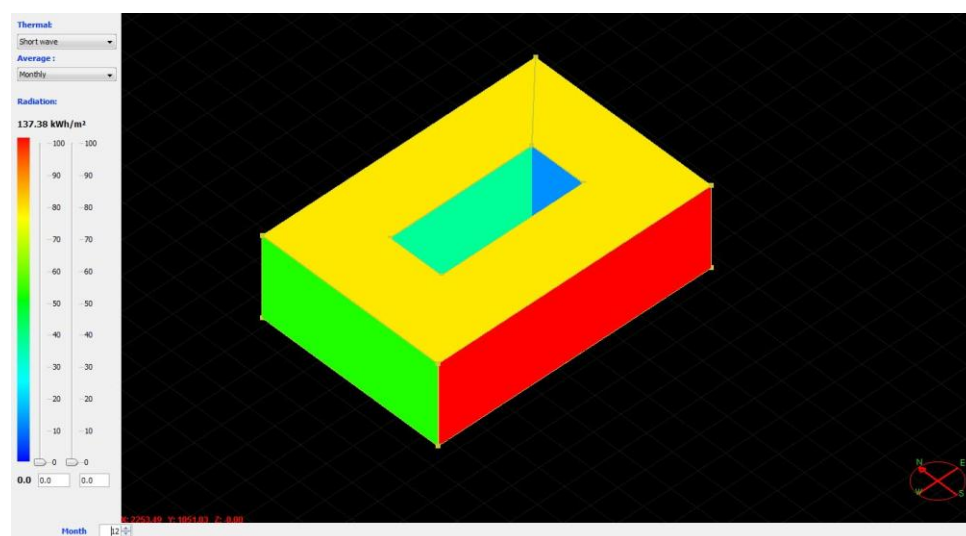


Figura 133 Studio morfologico. Tipologia F. Radiazione solare mensile: dicembre . Valore massimo 137 [kWh/m²]

Concludendo si può affermare che la radiazione solare sia massima sui prospetti Sud durante il periodo invernale, e minima nei mesi estivi. Per questo motivo i pannelli fotovoltaici devono essere posizionati sui prospetti Est ed Ovest, e sui tetti. La superficie vetrata deve essere massima nei prospetti Nord e Sud, garantendo una protezione dalla radiazione solare incidente dei mesi estivi, e massimizzando l'apporto solare invernale. Inoltre è ottimale aumentare la superficie vetrata all'interno delle corti, minimizzandola sulle superfici esterne.

4.3 STUDIO MORFOLOGICO_ STUDIO DELLA RADIAZIONE

SOLARE NEI DIVERSI PIANI DI UNA CASA A CORTE

In questo paragrafo verrà analizzata la radiazione solare incidente sui diversi piani di una casa a corte, di diverse altezze. CitySim infatti analizza la radiazione solare incidente nel centro della superficie, per questo motivo è utile suddividere la facciata nei diversi piani. La casa analizzata presenta un'orientazione Nord- Ovest, a tre piani lungo l'asse Nord- Ovest e due lungo l'asse Sud- Est. Nella tabella sottostante sono riassunti i risultati della simulazione, dove viene evidenziata la radiazione solare, che è massima al terzo piano esposto Sud- Est, con un valore pari a 1093.18 [kWh/m²]. Il valore minimo è invece registrato nella piano terreno esposto Nord- Ovest, con una radiazione solare incidente pari a 326.00 [kWh/m²]. La differenza tra piani è massima nel muro B, con una variazione del 41 [%] tra il piano terreno e l'ultimo piano.

Tabella 40 Studio morfologico. Radiazione solare annuale

Muro	Piani	Esposizione	Orientamento	Radiazione solare annuale[kWh/m ²]	Area [m ²]	Differenza tra i piani [%]
A1	1	Interno	Sud- Est	662.30	114.58	39
A2	2	Interno		892.46	114.58	18
A3	3	Interno		1'093.18	175.88	0
B1	1	Interno	Sud- Ovest	629.39	174.72	41
B2	2	Interno		833.09	174.72	21
B3	3	Interno		1'058.94	174.72	0
C1	1	Interno	Nord- Ovest	330.33	119.44	28
C2	2	Interno		457.90	119.44	0
D1	1	Interno	Nord- Est	326.00	72.66	33
D2	2	Interno		484.73	72.66	0
E1	1	Esterno	Sud- Est	1'224.43	211.88	0
E2	2	Esterno		1'224.64	211.88	0
F1	1	Esterno	Sud- Ovest	1'278.63	181.87	0
F2	2	Esterno		1'278.63	181.87	0
F3	3	Esterno		1'278.16	71.8	0
G1	1	Esterno	Nord- Ovest	793.33	209.92	0
G2	2	Esterno		793.33	209.92	0
G3	3	Esterno		793.31	209.92	0
H1	1	Esterno	Nord- Est	1'537.15	311	0
H2	2	Esterno		1'537.05	311	0
H3	3	Esterno		1'537.05	143	0

Nel diagramma sottostante sono riassunti i valori della radiazione solare annuale, espressa in $[\text{kWh}/\text{m}^2]$ per i diversi piani.

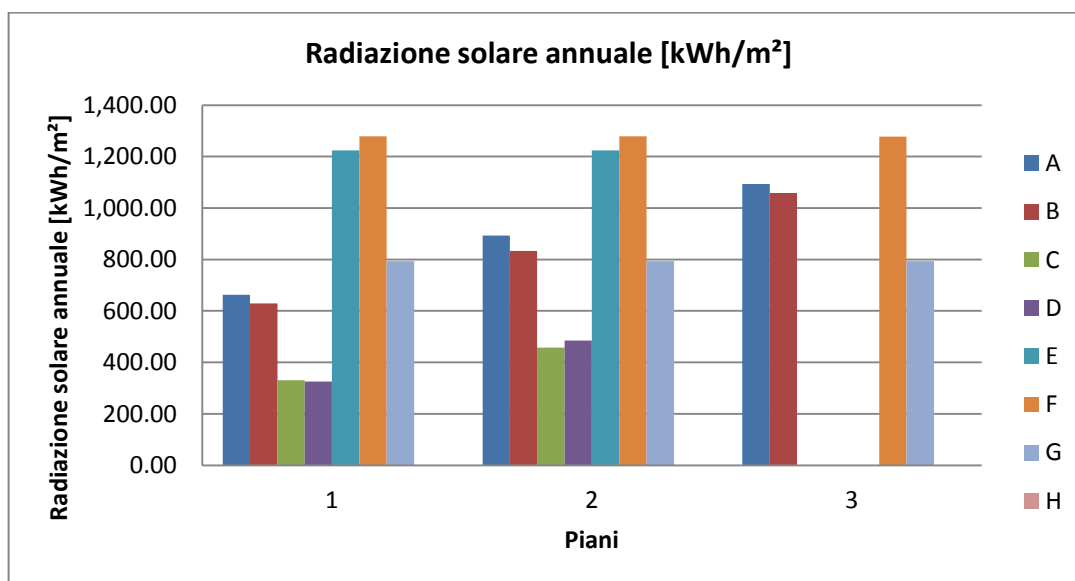


Figura 134 Studio morfologico. Radiazione solare annuale $[\text{kWh}/\text{m}^2]$

Risulta rilevante la differenza tra le superfici esterne ed interne alla corte: la differenza è massima nelle superfici esposte a Nord- Est, con un valore pari al 68 [%]. La differenza minima, pari al 27.92 [%], è invece riscontrabile nelle superfici esposte a Sud- Ovest. Nelle figure 135- 139 è visibile la radiazione solare annuale e mensile per l'edificio oggetto di studio.

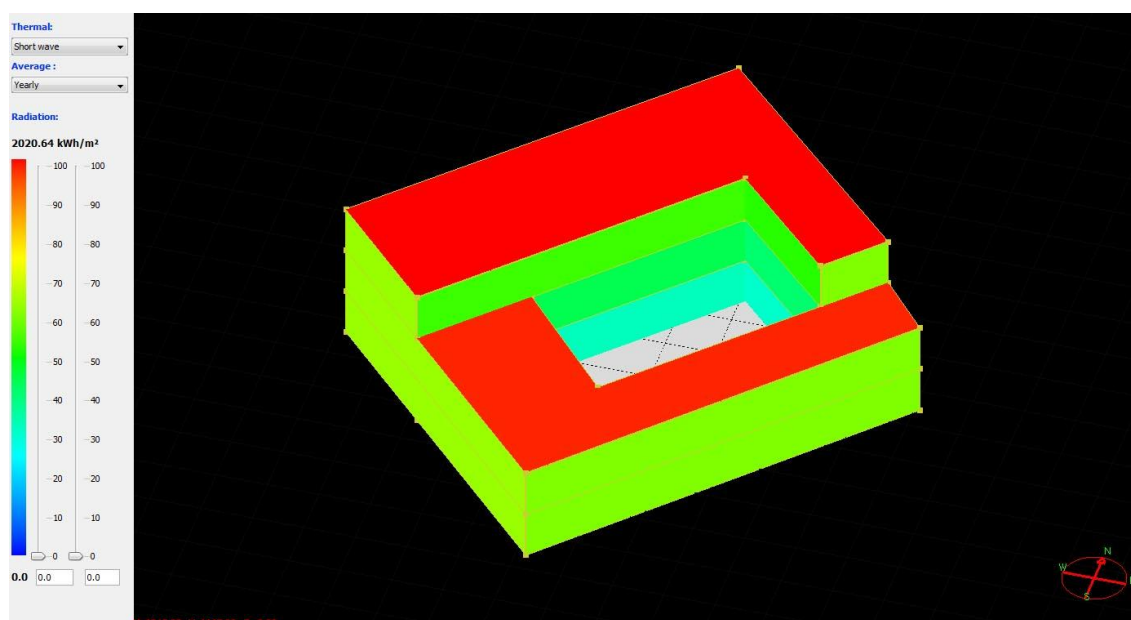


Figura 135 Studio morfologico. Radiazione solare annuale . Valore massimo 2020 $[\text{kWh}/\text{m}^2]$

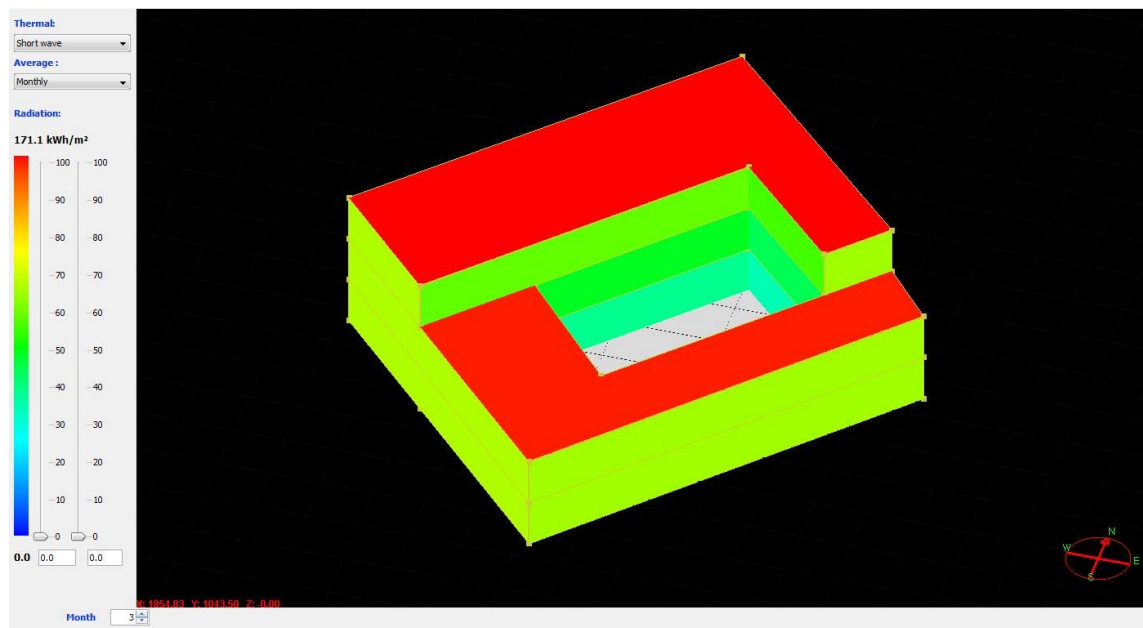


Figura 136 Studio morfologico. Radiazione solare mensile: marzo . Valore massimo 171 [kWh/m²]

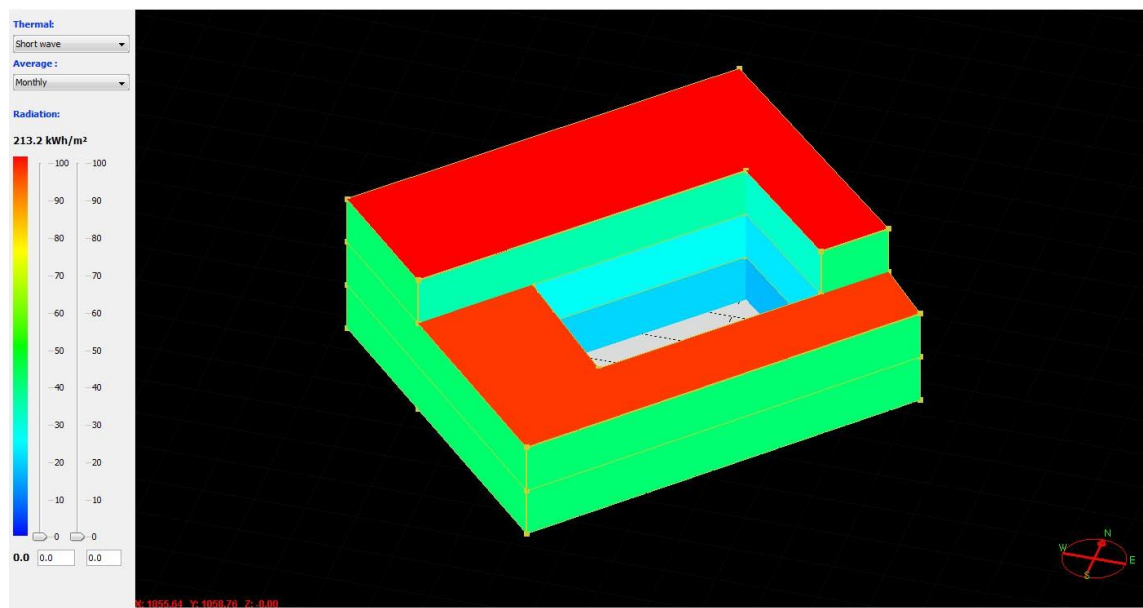


Figura 137 Studio morfologico. Radiazione solare mensile: giugno. Valore massimo 213 [kWh/m²]

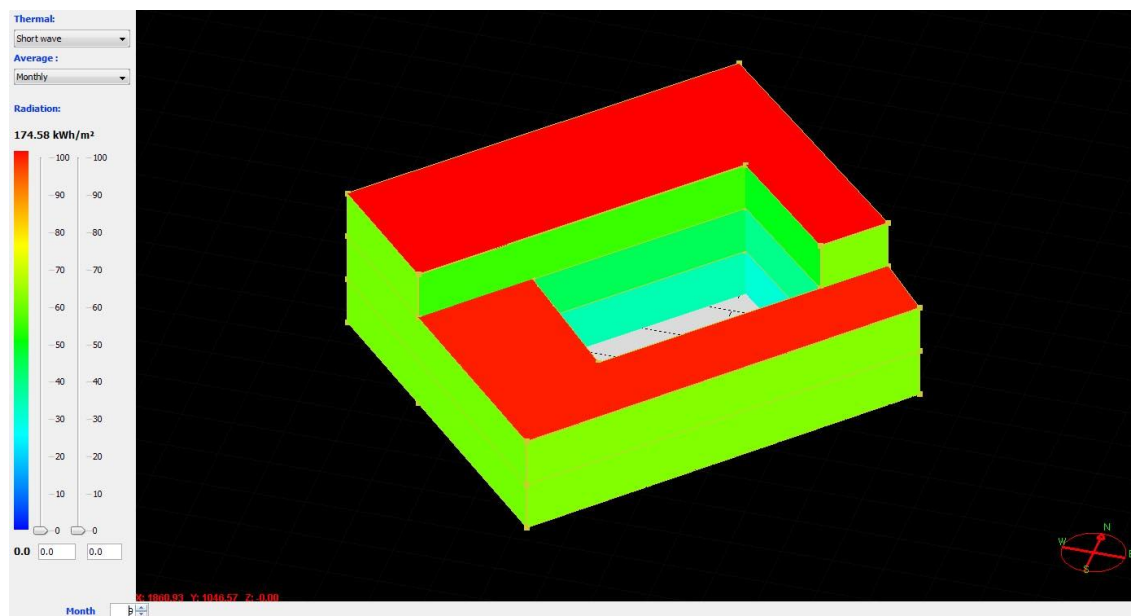


Figura 138 Studio morfologico. Radiazione solare mensile: settembre . Valore massimo 174 [kWh/m²]

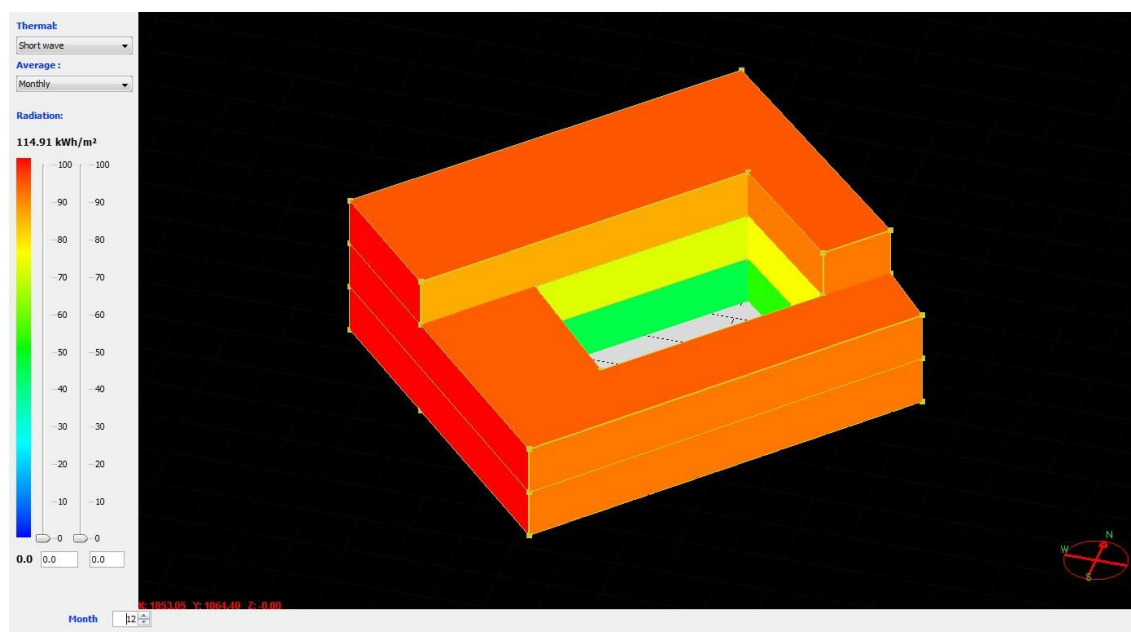


Figura 139 Studio morfologico. Radiazione solare mensile: dicembre. Valore massimo 115 [kWh/m²]

4.4 CONFORT TERMICO PER I PEDONI

In questo capitolo verrà analizzato il confort termico per i pedoni all'interno delle corti. Lo studio vuole evidenziare la percezione termo igrometrica delle persone, per capire quali schermature, protezioni, siano necessarie.

4.4.1 LA FORZA DEL VENTO SU DI UNA PERSONA

La forza del vento che agisce su di una persona può essere calcolata con la formula sottostante:

$$F = \frac{1}{2} \rho u^2 * A_p * C_d$$

Dove

F: la forza del vento su di una persona [N]

u: velocità del vento [m/s]

ρ : densità dell'aria [kg/m³]

A_p: proiezione dell'area normale alla direzione del vento [m²]

C_d: coefficiente di resistenza [adimensionale]

La densità dell'aria è legata alla temperature, come leggibile nella figura 140. La densità dell'aria a 35 [°C] è pari a 1,14 [kg/m³], e 1,29 [kg/m³] a 0 [°C].

Effect of temperature			
Temperature	Speed of sound	Density of air	Acoustic impedance
t in °C	c in m·s ⁻¹	ρ in kg·m ⁻³	Z in N·s·m ⁻³
+35	351.96	1.1455	403.2
+30	349.08	1.1644	406.5
+25	346.18	1.1839	409.4
+20	343.26	1.2041	413.3
+15	340.31	1.2250	416.9
+10	337.33	1.2466	420.5
+5	334.33	1.2690	424.3
±0	331.30	1.2920	428.0
-5	328.24	1.3163	432.1
-10	325.16	1.3413	436.1
-15	322.04	1.3673	440.3
-20	318.89	1.3943	444.6
-25	315.72	1.4224	449.1

Figura 140 Densità dell'aria in funzione della temperatura

Il coefficiente di resistenza è un parametro che esprime la resistenza di un materiale in un fluido. Il coefficiente di resistenza di una persona in posizione stabile in piedi, è compreso tra 1.00 e 1.30.

Il valore A_p, la proiezione dell'area normale alla direzione del vento, è connessa con l'area totale, A_{du}. Il rapporto A_p/ A_{du} è un valore standard, come leggibile dall'articolo "Acceptable wind speed in towns"[24] ed è pari a 0.31 per ogni persona. La superficie totale di un soggetto standard, alto 1.80 [m], e 75 [kg] di peso è definito dalla formula di DuBois come:

$$A_{du} = 0.203 * W^{0.425} * h^{0.725}$$

$$A_{du} = 1.94 [m^2]$$

Dove

A_{du} : superficie totale [m²]

W : peso del soggetto [kg]

h : altezza del soggetto [m]

Conoscendo la superficie totale del soggetto, possiamo definire il valore di A_p , come

$$A_p = 1.94 \cdot 0.31 = 0.60 \text{ [m}^2\text{]}$$

Grazie al valore A_p è possibile individuare F , la forza del vento sul soggetto, sito in Ras Al Khaimah, utilizzando i dati meteo relativi al mese di luglio, in cui la temperatura media è pari 36.37 [°C].

$$F = \frac{1}{2} * 1.14 * 3.11^2 * 0.60 * 1.20$$

$$F = 3.97 \text{ [N]}$$

Il vento utilizzato in questa formula è la brezza da Nord- Ovest, con velocità pari a 3.11 [m/s]. L'analisi sottostante riguarda invece il vento da Sud, nel mese di Agosto.

$$F = \frac{1}{2} * 1.14 * 4.57^2 * 0.60 * 1.20$$

$$F = 8.57 \text{ [N]}$$

La forza del vento è quindi pari a 3.97 [N] per il vento da Nord Ovest, e 8.57 [N] per il vento da Sud.

4.4.2 LO SCAMBIO TERMICO TRA UNA PERSONA E L'AMBIENTE ESTERNO

Un aspetto molto importante nello studio del clima urbano riguarda lo scambio termico tra la persona e l'ambiente esterno: questo parametro non è assoluto, bensì influenzato dall'attività del soggetto, i suoi vestiti, ed altri innumerevoli parametri. Risulta importante in primis definire l'equilibrio termico del corpo umano, che scambia calore con l'ambiente esterno grazie alla convezione, conduzione, evaporazione o traspirazione, e radiazione con l'aria esterna e le superfici limitrofe. Il corpo umano tende a mantenere una situazione di equilibrio, mantenendo una temperatura interna costante, e pari a 37 [°C]. Questo equilibrio avviene involontariamente, grazie alla circolazione sanguigna, e lo scambio di calore tramite la superficie dermica, ma anche grazie ad azioni volontarie, come l'aumento o diminuzione dell'attività fisica, il cambio di vestiti. I parametri che influenzano il confort termico sono riassunti nella tabella sottostante.

Tabella 41 Parametri legati al confort termico del soggetto[25]

Parametri	Simbolo	Dimensione
Temperatura dell'aria	θ_a	[°C]
Temperatura media	θ_{rt}	[°C]
Velocità dell'aria rispetto al soggetto	ϑ	[m/s]
Pressione parziale del vapore acqueo	ρ	[Pa]
Attività metabolica del soggetto	M	[W]
Attività meccanica del soggetto	W	[W]
Area della pelle	A	[m ²]
Attività metabolica specifica	$m = M/A$	[W/m ²]
Attività meccanica specifica	$w = W/A$	[W/m ²]
Resistenza termica dei vestiti	R	[m ² K/W]
Vestiti	H	[clo] = $R/0.155$

Per le simulazioni effettuate con CitySim, i parametri più importanti sono la temperatura dell'aria, la superficie esposta e la resistenza termica dei vestiti.

Tabella 42 Emissione di calore per le diverse attività metaboliche. Norma EN- ISO 7730[25]

Attività	Emissione di calore		
	[met]	[W/m ²]	[W/persona]
Sdraiato	0.8	46	83
Seduto, rilassato	1.0	58	104
Attività sedentaria (ufficio, scuola, laboratori)	1.2	70	126
Attività in piedi leggera (negozi, laboratori, industria leggera)	1.6	93	167
Attività in piedi media (lavori domestici o meccanici)	2.0	116	209
Camminata a 4 [km/h]	2.8	162	292

Tabella 43 Resistenza termica di alcuni tipi di abbigliamento [25]

Vestiti	[clo]	[m ² K/W]	[m ² deg C/W]
Nessuno	0.0	0.0	
Pantaloni corti, costume	0.1	0.015	
Vestiti estivi: pantaloni e maglietta leggeri	0.5	0.08	0.08
Tuta da lavoro	0.7	0.11	
Pantaloni, maglia e giacca	1.0	0.15	
Pantaloni, maglione, cappotto	1.5	0.23	

Nel clima del campus a progetto è possibile assumere che i vestiti utilizzati siano prevalentemente estivi, con una resistenza termica pari a 0.08 [m²K/W], ed una trasmittanza pari a 4.16 [W/m²K]. Come visibile nell'immagine sottostante, la temperatura ottimale per gli uffici, con un'attività metabolica pari a 1.2 [Met] ed un

abbigliamento estivo di 0.5 [Clo], è pari a 26 [°C], con una differenza di +- 1.5 [°C]. Durante l'inverno le temperature possono scendere fino a 24 [°C], con un abbigliamento invernale adatto a quel clima, con valore 0.70 [Clo].

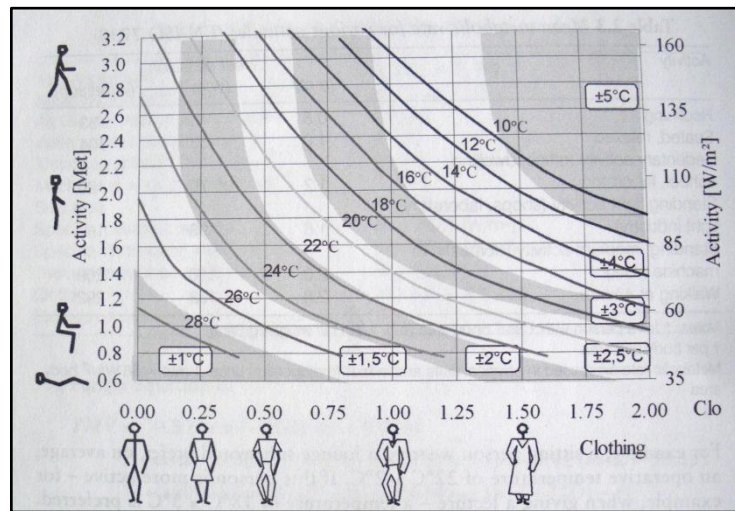


Figura 141 Confort termico per diverse attività ed abbigliamento[25]

4.4.3 SCAMBIO TERMICO CORPOREO E CONDIZIONI DI CONFORT

L'equazione di Humphreys permette di definire le condizioni di confort di una persona in ambiente esterno. La formula è definita come:

$$Tb - Ta = \frac{M}{Adu} * Rb + k * \frac{M}{Adu} * Rc + \left(k * \frac{M}{Adu} + S \right) * (4.2 + 13u^{0.5})^{-1}$$

Dove

Tb: Temperature corporea 37 [°C]

Ta: temperature dell'aria [°C]

M/Adu: Produzione di calore metabolico per unità di superficie corporea [W/m²]

k: Proporzione di dissipazione di calore metabolico per mezzi esclusa l'evaporazione, circa 0.8

Rb: resistenza termica dei tessuti corporei [m²deg C/W]. Per Humphreys 0.04 [m²deg C/W] è l'inizio della sudorazione e 0.09 [m²deg C/W] è l'inizio dei brividi.

Rc: resistenza termica dei vestiti [m² deg C/W]. Espresso anche in [Clo]: 1Clo= 0.155 [m² deg C/W]

S: radiazione solare per metro quadro di superficie corporea [W/m²]. Valore massimo 120 [W/m²]

u: velocità del vento [m/s]

$(4 * 2 + 13u^{0.5})^{-1}$: resistenza termica tra i vestiti e l'ambiente esterno [m² deg C/W]

Analizzando i dati meteo di Ras Al Khaimah, possono essere individuati i seguenti valori:

Tb: 37 [°C]

Ta: 43.18 [°C], temperatura massima in luglio

M/Adu: 162 [W/m²], per una persona che cammina a 4 [km/h]

k: 0.8

Rb: da definire [m²deg C/W]

Rc: 0.08 [m² deg C/W], con abbigliamento da ufficio estivo

S: 120 [W/m²], assunto come valore massimo

u: 3.11 [m/s], velocità del vento massima nel mese di luglio

Il risultato dell'equazione dà un valore Rb pari a -0.25, che significa una situazione di grande discomfort e forte sudorazione. Quindi risulta necessario ipotizzare degli elementi in grado di ridurre la temperatura esterna, poiché le persone non sono in condizioni confortevoli. Le strategie applicabili possono essere:

- Ridurre la radiazione solare, tramite opportune schermature, creando ampie zone d'ombra.
- Ridurre la temperatura esterna, aumentando la ventilazione naturale e le zone d'ombra.
- Aumentare il raffrescamento naturale, con una corretta posizione degli edifici, e l'utilizzo di torri del vento.

Dall'immagine sottostante è possibile identificare le zone di confort per i pedoni in pieno sole o piena ombra. I parametri che influenzano il confort termico sono sia la temperatura, sia la velocità del vento. La produzione metabolica dei soggetti corrisponde a 100 [W/m²], ovvero ad una persona che cammini tranquillamente.

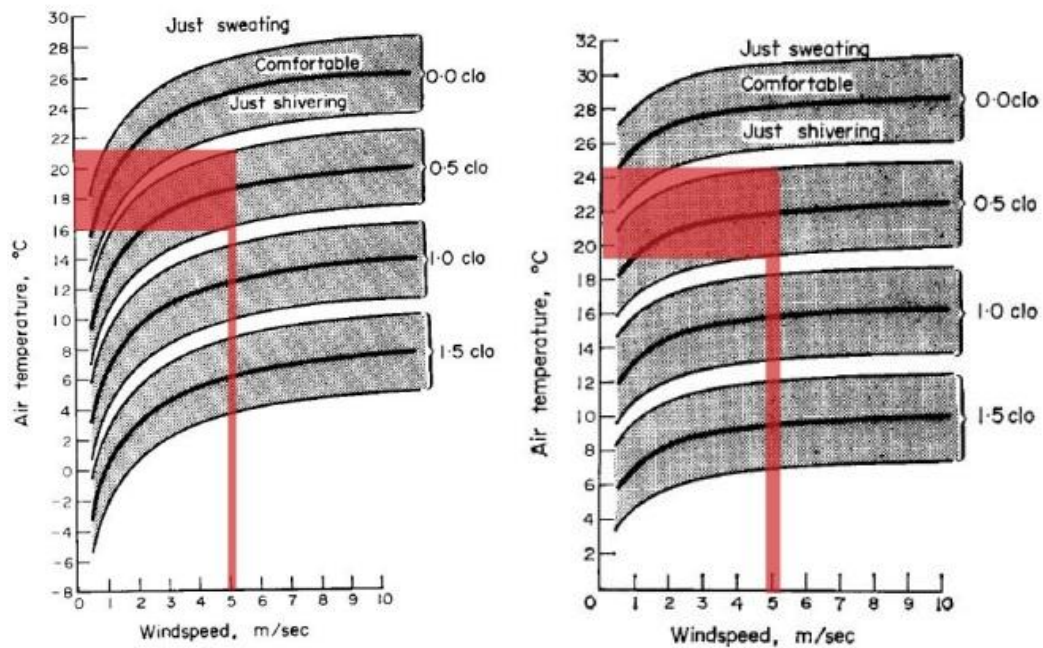


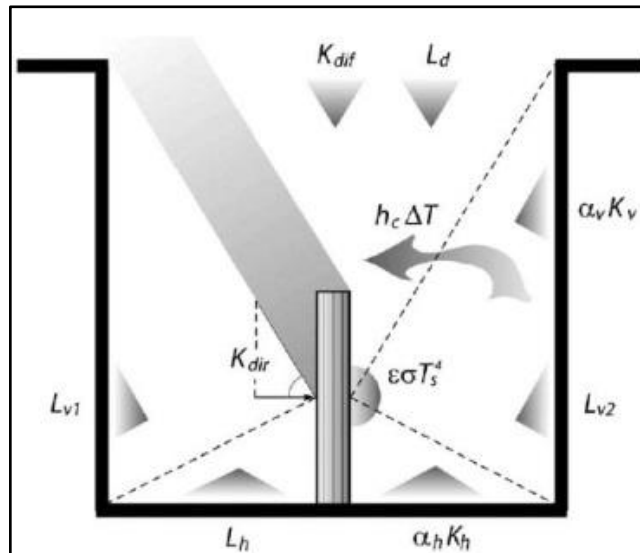
Figura 142 Condizioni di confort, a sinistra in pieno sole, a destra in ombra

Dalla figura 142 è possibile notare l'influenza del vento, che è massima quando la velocità è minima, infatti in pieno sole, con un abbigliamento di 0.5 [Clo], con una velocità del vento che varia da 0.5 a 5 [m/s] la temperatura di confort passa da 9 [°C] a 18 [°C], con un ΔT di 9 [°C]. In ombra, invece, nelle stesse condizioni di vestiario, la temperatura varia da 18 [°C] a 21 [°C]. Il caso più appropriato per Ras Al Khaimah è 5 [m/s] come velocità del vento confortevole per i pedoni, ed una temperatura compresa tra i 16 [°C] e 21 [°C] in pieno sole, ed una temperatura compresa tra 19 [°C] e 25 [°C] in ombra.

4.4.4 MODELLIZZAZIONE DEL CONFORT DELLE PERSONE IN UN CANYON URBANO

Come detto nel paragrafo precedente, la temperatura esterna dovrebbe essere compresa tra i 19 [°C] e 25 [°C], con una velocità del vento pari a 5 [m/s]. L'obiettivo di questo paragrafo è la simulazione con CitySim del confort dei pedoni in un canyon urbano. Prima di mostrare i risultati della simulazione è però interessante comprendere le altre ricerche scientifiche, prese come esempio per lo svolgimento: l'articolo "Physical modelling of pedestrian energy exchange within the urban canopy" [26] e "Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Marocco" [27].

Nell'articolo "Physical modelling of pedestrian energy exchange within the urban canopy" l'ipotetica persona è stata definita come un cilindro, di altezza pari a 1.50 [m], di diametro pari a 0.17 [m], e posizionata nel centro della strada. La temperatura della pelle è considerata pari a 35 [°C], l'albedo pari a 0.35, l'emissività della pelle pari a 0.90. Il bilancio energetico della persona è definito nell'immagine sottostante, in cui sono evidenziati gli scambi convettivi e radiativi tra il soggetto e l'ambiente.



$$R_n = (K_{dir} + K_{dif} + \alpha_h K_h + \alpha_v K_v)(1 - \alpha_s) + L_d + L_h + L_v - \epsilon \sigma T_s^4$$

Dove

R_n : bilancio istantaneo di tutte le componenti radiative nette

K_{dir} : la componente diretta della radiazione solare incidente sulla faccia del cilindro .

K_{dif} : la componente diffusa della radiazione solare incidente sulla faccia del cilindro .

$\alpha_h K_h$: "Incident fluxes of short wave radiation diffusely reflected from horizontal canyon face"

α_s : albedo della superficie della pelle, 0.35

L_d : "absorbed downward long wave sky radiation"

L_h : "absorbed long wave radiation fluxes emitted from horizontal surface"

L_v : "absorbed long wave radiation fluxes emitted from vertical surface"

ϵ : emissività della superficie corporea

σ : costante di Stefan- Boltzmann

T_s : la temperature delle superficie esterna del corpo [K]

La geometria dello spazio ha un ruolo fondamentale nel confort urbano, come si può leggere nell'articolo "Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco"[27]. L'elemento chiave è infatti il rapporto tra l'altezza e la distanza degli edifici. Questo elemento è strettamente connesso con la radiazione solare incidente e la velocità del vento. Lo studio svolto dall'autore riguarda la città di Fez in Marocco, confrontando la Medina con la Nouvelle Ville. Il parametro che è stato analizzato

è il PET, “Physiologically Equivalent Temperature”, un indice di confort che analizza la temperatura, la radiazione solare, l’umidità e la velocità del vento. I risultati dello studio, svolto sul campo, hanno evidenziato il contrasto tra la Medina e la Nouvelle Ville, quest’ultima costruita in stile europeo, caratterizzata da ampi viali alberati. Il rapporto tra l’altezza e la distanza degli edifici nella Medina è pari a 9.7, nella Nouvelle Ville è pari a 0.6.

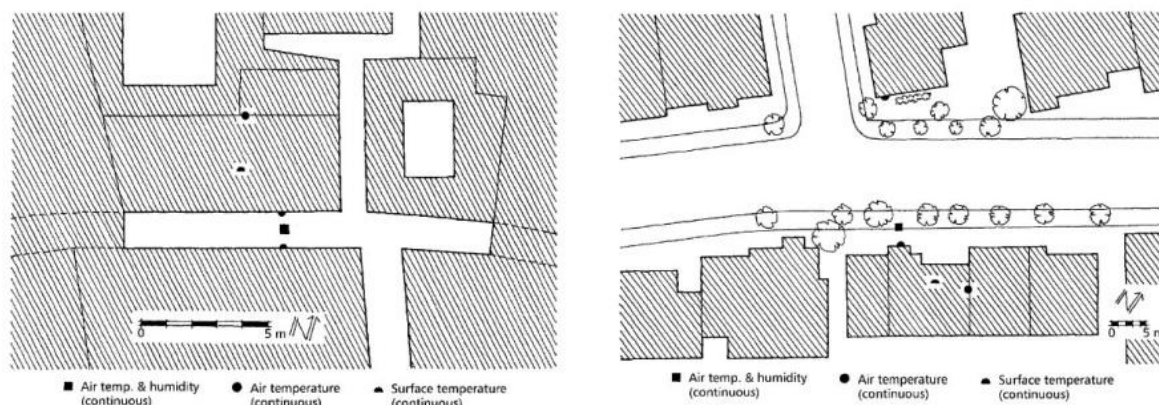


Figura 143 Pianta dell'antica Medina di Fez, a sinistra, e della Nouvelle Ville a destra[27]

Analizzando i risultati della ricerca è possibile sottolineare come il clima nell’antica Medina sia più favorevole di quello nella Nouvelle Ville, grazie alla presenza delle ombre portate dagli edifici, che assicurano una temperatura inferiore nei vicoli della Medina. Come visibile nei diagrammi sottostanti i “deep canyon” ovvero i canyon della Medina, assicurano un clima più favorevole sia nel periodo estivo, sia nell’invernale. Infatti durante i mesi più caldi le temperature variano tra i 23.8 [°C] ed i 30 [°C], con un’escursione termica pari a 6.2 [°C]. Nella Nouvelle Ville invece le temperature arrivano fino a 36 [°C] nelle ore più calde, e 21 [°C] nelle ore notturne. Lo stesso accade nel periodo invernale, quando si registra un’escursione termica di 4 [°C] nella Medina, e 10 [°C] nella città nuova.

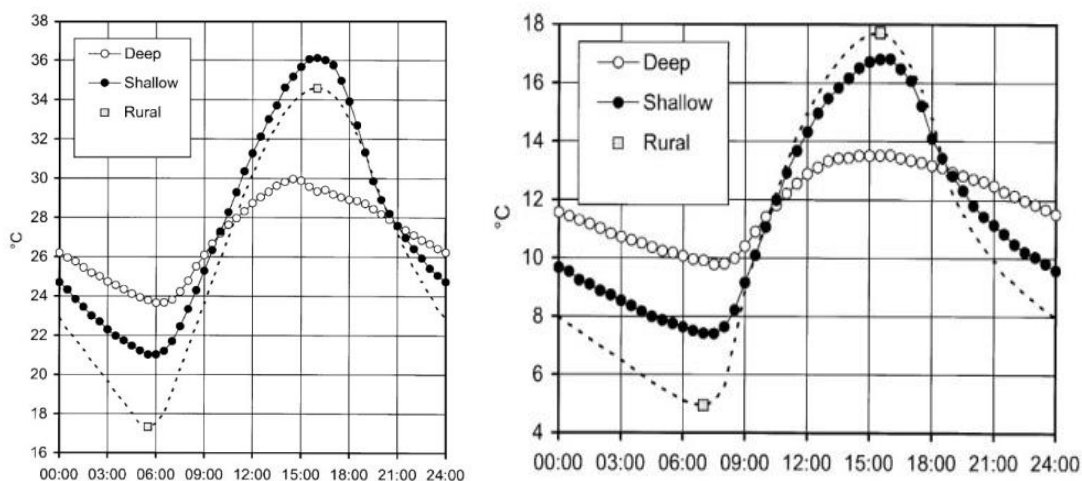


Figura 144 Temperatura media giornaliera nel periodo estivo ed invernale, registrate nella Medina (Deep), la Nouvelle Ville (Shallow) e nelle aree rurali circostanti [27]

Un altro elemento interessante è la radiazione solare sulle facciate e la temperature delle stesse: nei deep canyon le facciate sono meno soleggiate, grazie alle ombre portate degli edifici ed al limitato sky view factor, di conseguenza la temperatura dei muri è sempre

regolare. Nel shallow canyon invece le temperature variano fino a 20 [°C] giornalieri. Lo stesso tipo di analisi è stata fatta per l'umidità, durante i mesi più caldi: è stata registrata una differenza compresa tra il 20 [%] e 60 [%] nei shallow canyon, mentre nei deep canyon si aggira attorno al 35 [%]- 50 [%].

Concludendo è possibile affermare che aumentando il rapporto altezza/ distanza tra gli edifici, fino ad un valore pari a 10, si possono avere i più confortevoli valori di temperatura, umidità e radiazione solare sulle superficie. Un progetto urbano sostenibile nel clima desertico deve quindi avere una forma compatta, attraversata da strade strette ed irregolari, intervallate da ampie corti, per garantire la corretta illuminazione durante il periodo invernale. Le strade devono essere protette durante i mesi estivi, grazie alla vegetazione, l'aggetto degli edifici stessi, pensiline o balconate.

4.4.5 ANALISI DEL CONFORT DELLE PERSONE TRAMITE CITYSIM

In questo paragrafo verrà analizzato il confort dei pedoni, nelle strade e nelle corti. Il pedone è stato creato come un cilindro di vetro, di altezza 1.50 [m] e diametro pari a 0.17 [m], come tratto dall'articolo "Physical modelling of pedestrian energy exchange within the urban canopy"[26]. I pedoni sono stati posizionati in centro alla strada, nella prima simulazione, e all'interno di una corte nella seconda simulazione.

La temperatura interna del cilindro è stata definita come compresa tra 35 [°C] e 37 [°C], mentre l'involucro è stato definito a partire dalla resistenza termica dei vestiti. Immaginando una resistenza dei vestiti estivi pari a 0.08 [m²K/W], considerato come l'abbigliamento ottimale per Ras Al Khaimah, è stata definita la resistenza termica del corpo umano come descritto nella formula sottostante:

$$R = \frac{1}{8} + 0.08 + \frac{1}{25}$$

$$R = 0.24 \text{ [m}^2\text{K/W]}$$

La trasmittanza termica è pari a : $1/R = 4.16 \text{ [W/m}^2\text{K]}$

Il pedone- edificio è stato definito come un cilindro di vetro:

Tabella 44 Confort termico pedoni. Materiali

Nome	l [m]	p [Kg/m³]	k [W/m°C]	Cp[J/Kg°C]
Vetro	0.04	11	0.053	840

Dove

l: spessore [m]

p: massa volumica [Kg/m³]

k: conducibilità termica [W/m°C]

Cp: calore specifico [J/Kg°C]

La percentuale vetrata su tutte le superfici è pari a 0.00 [%]

L'albedo della pelle:0.35

CASO STUDIO A_ I CANYON URBANI

In questa analisi sono stati simulati due edifici di 15 [m] di altezza, con orientazione Nord-Sud e Est- Ovest, ed una distanza pari a 2.00 e 5.00 [m], come visibile nell'immagine sottostante.

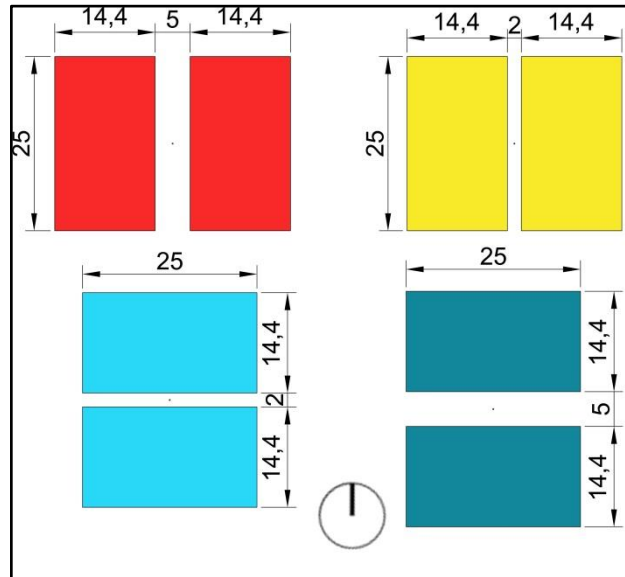


Figura 145 Caso studio A_ urban canyon_pianta

Lo scopo di questa simulazione è definire la radiazione solare totale sui pedoni, durante l'anno e durante il solstizio estivo, il 21 giugno alle 12.00, considerata come la situazione peggiore durante l'anno. Risulta importante sottolineare che ogni persona ha una diversa percezione del confort termico, che dipende dall'età, dall'abbigliamento e dall'attività fisica che sta svolgendo. Per questo motivo è stata studiata l'irradiazione solare sui pedoni partendo dall'articolo "*Outdoor human comfort in a urban climate*"[28], nel quale l'autore analizza il confort termico dei passanti, tramite un questionario posto a 466 persone nella città di Montreal, in un periodo di 34 giorni. Da questo articolo è possibile notare che le persone preferiscono una radiazione solare compresa tra 200 ed 800 [W/m²], naturalmente nella città di Montreal, non negli Emirati Arabi.

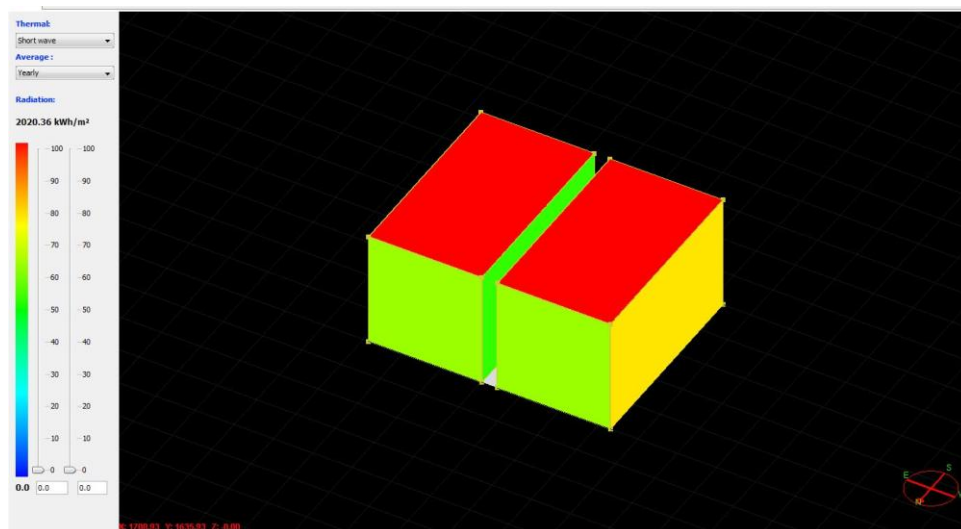


Figura 146 Orientazione Est- Ovest, distanza tra gli edifici: 2 [m]. Radiazione solare, risultato annuale . Valore Massimo 2020 [kWh/m²]

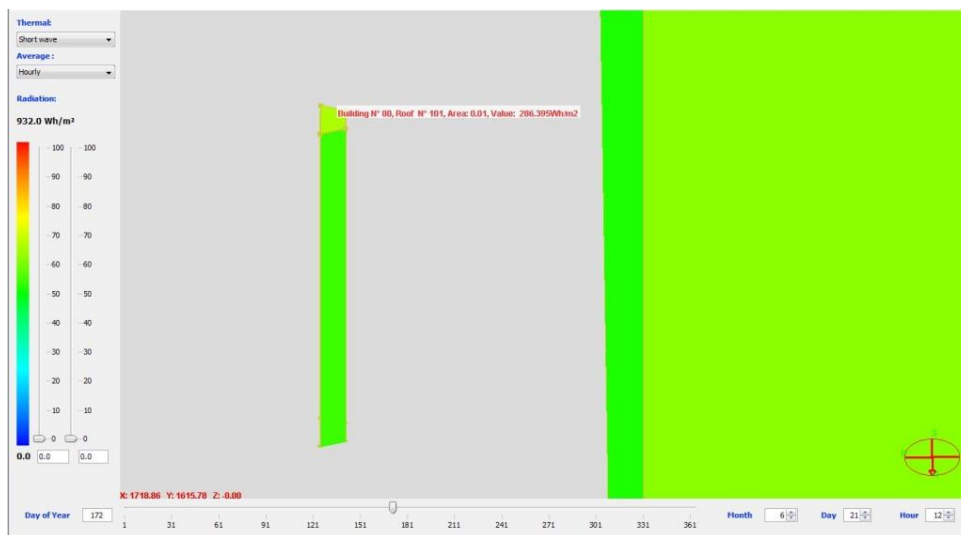


Figura 147 Orientazione Est- Ovest, distanza tra gli edifici: 2 [m]. Radiazione solare, 21 giugno ore 12.00. Valore sul pedone 286 [Wh/m²]

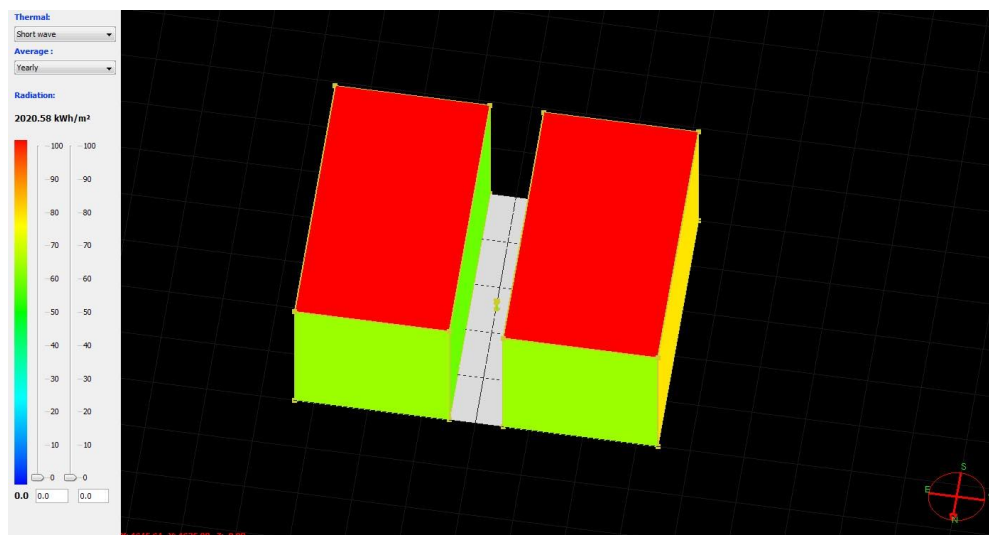


Figura 148 Orientazione Est- Ovest, distanza tra gli edifici: 5 [m]. Radiazione solare, risultato annual. Valore Massimo 2020 [kWh/m²]

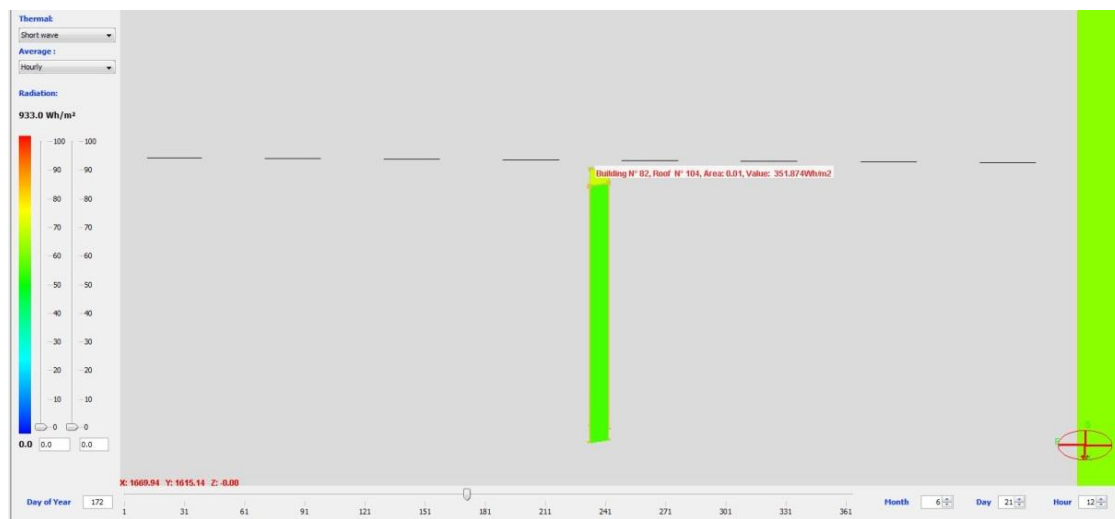


Figura 149 Orientazione Est- Ovest, distanza tra gli edifici: 5 [m]. Radiazione solare, 21 giugno ore 12.00. Valore sul pedone 351 [Wh/m²]

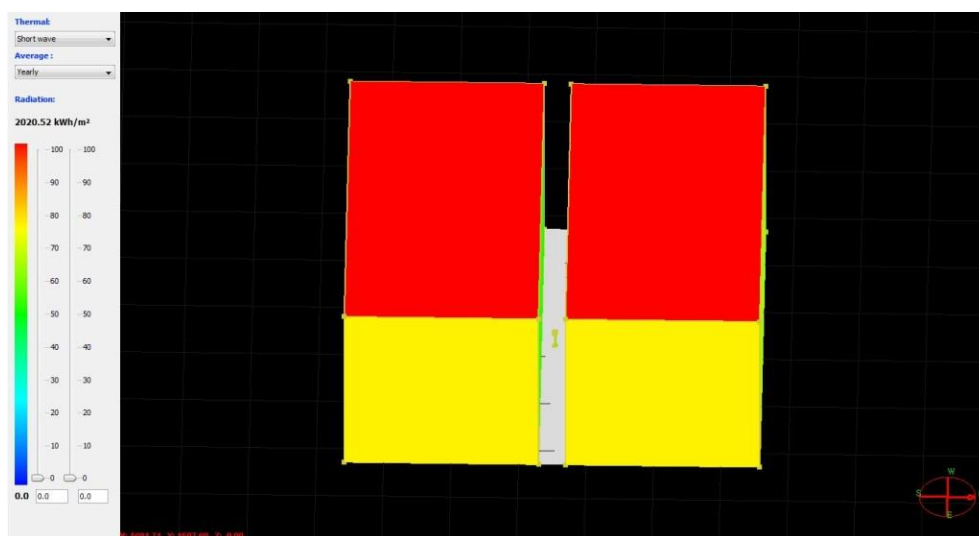


Figura 150 Orientazione Nord- Sud, distanza tra gli edifici: 2 [m]. Radiazione solare, risultato annual. Valore Massimo 2020 [kWh/m²]

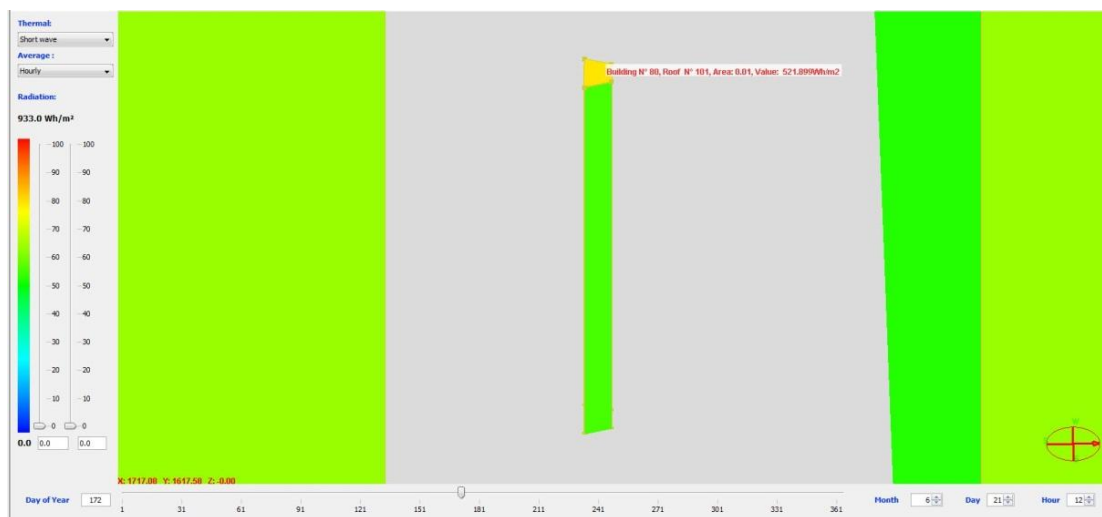


Figura 151 Orientazione Nord- Sud, distanza tra gli edifici: 2 [m]. Radiazione solare, 21 giugno ore 12.00. Valore sul pedone 521 [Wh/m²]

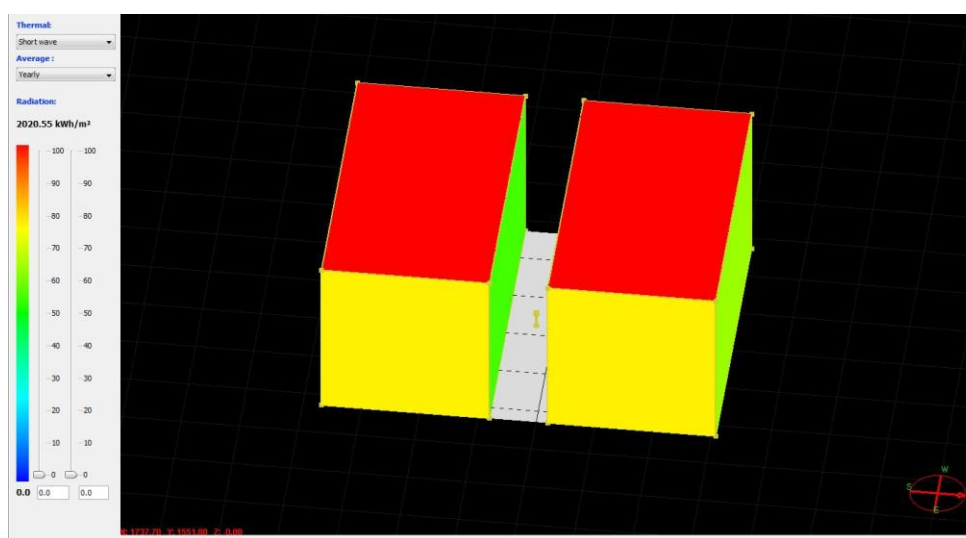


Figura 152 Orientazione Nord- Sud, distanza tra gli edifici: 5 [m]. Radiazione solare, risultato annual. Valore Massimo 2020 [kWh/m²]

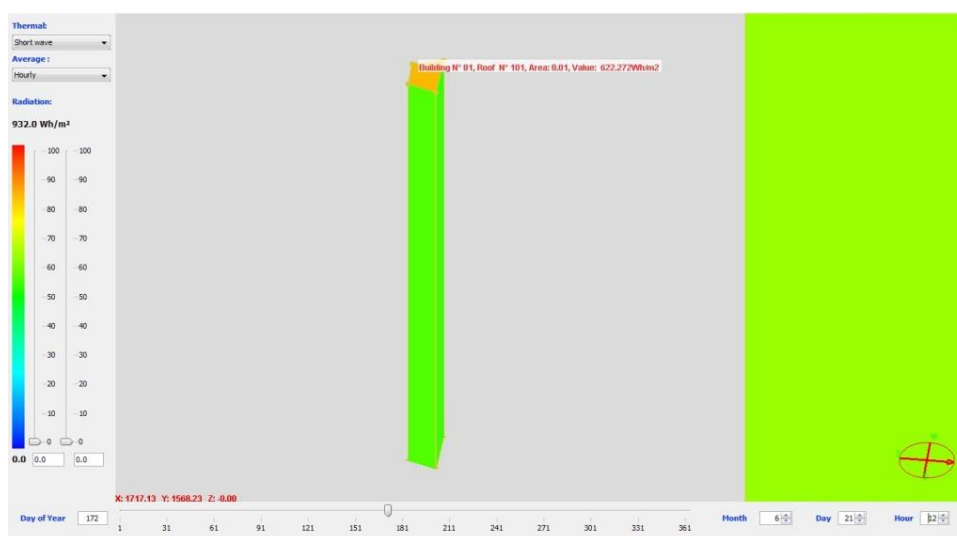


Figura 153 Orientazione Nord- Sud, distanza tra gli edifici: 5 [m]. Radiazione solare, 21 giugno ore 12.00. Valore sul pedone 622 [Wh/m²]

Come visibile dalle figure 146-153, la radiazione solare massima sul pedone è negli edifici orientati Nord- Sud, con un'irradiazione pari a 622.27 [Wh/m²] alle ore 12.00 del 21 giugno. Il valore minimo è negli edifici orientati Est- Ovest, ad una distanza di 5 [m], con una radiazione pari a 286.39 [Wh/m²].

CASO STUDIO B_ LA CASA A CORTE

Nella seconda analisi è stata definita la radiazione solare sulle persone in una corte di 23.95 * 14.40 [m], come visibile nella figura 154.

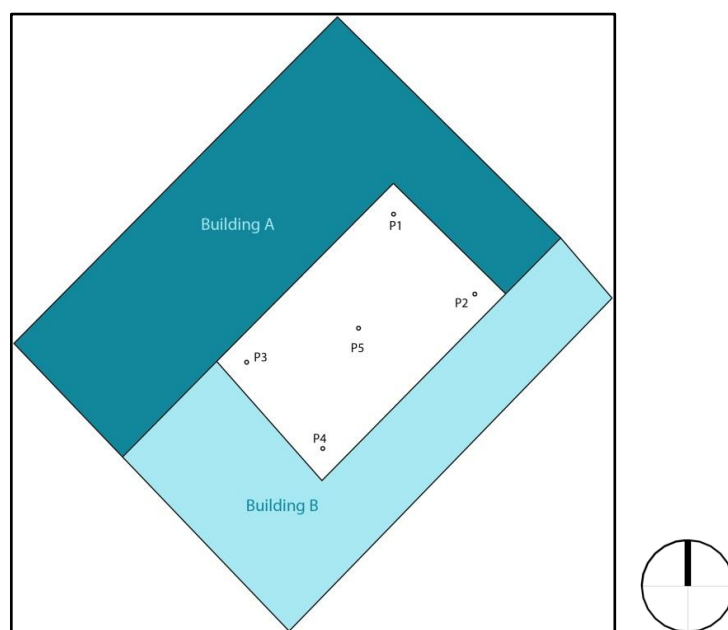


Figura 154 Pianta delle casa a corte ed indicazione delle persone

Le persone sono state posizionate a due metri dai muri dell'edificio, negli angoli (P1,P2,P3,P4) mentre P5 è stato posizionato nel centro della corte. L'analisi è stata effettuata il 21 giugno alle ore 12.00. L'irradiazione massima è in P2, con 393.68 [Wh/m²], mentre sul tetto è pari a 848.32 [Wh/m²] per l'edificio A, e 844.28 [Wh/m²] per l'edificio B. La differenza massima, tra l'edificio A ed il cilindro P4 è pari al 13.85 [%] per la radiazione solare annuale, e pari al 16.20 [%] il 21 giugno, e 17.39 [%] il 21 dicembre.

Tabella 45 Radiazione solare sui passanti e sugli edifici [Wh/m²]

Pedoni_Edificio	Radiazione solare annuale[Wh/m ²]	21 Giugno 12.00 [Wh/m ²]	21 Dicembre 12.00 [Wh/m ²]
P1	734,219.18	148.98	185.16
P2	561,373.43	393.68	72.33
P3	438,273.14	300.69	117.02
P4	279,895.65	137.42	57.92
P5	577,755.97	315.46	145.95
Edificio A	2,020,309.94	848.32	333.10
Edificio B	1,973,114.88	844.28	329.49
Differenza min-max [%]	13.85	16.20	17.39

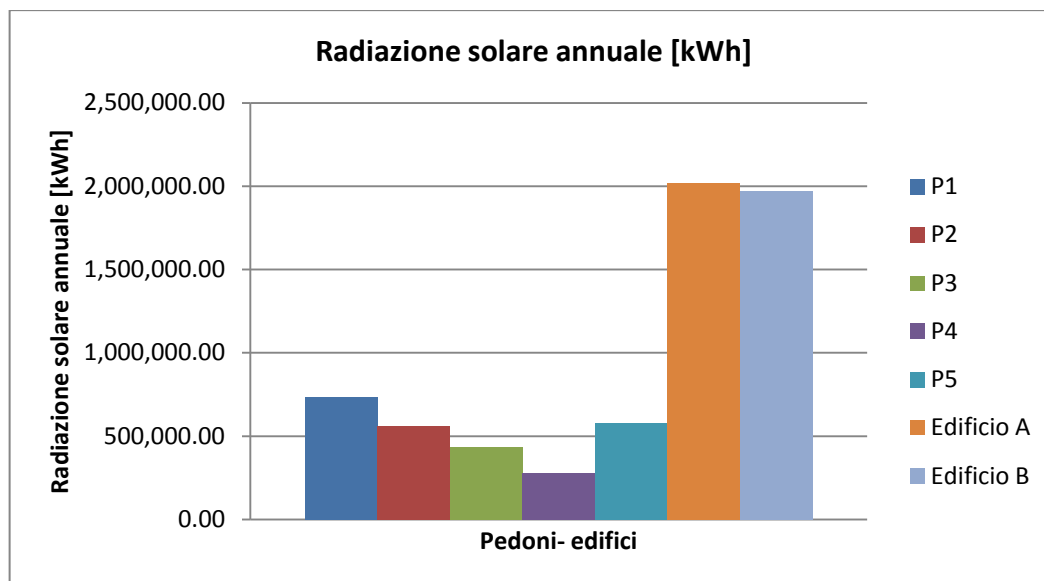


Figura 155 Radiazione solare annuale [kWh/m²]

CASO STUDIO C_ CONFORT TERMICO NELLA CORTE

Partendo dal caso studio precedente sono stati analizzati i fabbisogni energetici dei passanti, considerati come edifici. In questa simulazione si voleva misurare il consumo energetico per raffrescamento dei pedoni, come riassunto nella tabella sottostante. I passanti hanno un consumo energetico annuale totale massimo pari a 55 [kWh]. Questo significa che una persona, in posizione stabile, può trovare un clima confortevole nella corte, poiché ha bisogno solo di un po' di raffrescamento durante le ore più calde estive.

Tabella 46 Confort termico dei passanti nella corte, fabbisogno per il raffrescamento [kWh]

Fabbisogno per il raffrescamento [kWh]					
Mesi	P1	P2	P3	P4	P5
Gennaio	-0.17	-0.07	-0.04	0.00	-0.04
Febbraio	-0.19	-0.10	-0.08	-0.02	-0.09
Marzo	-1.21	-1.02	-0.87	-0.58	-0.93
Aprile	-2.52	-2.44	-2.48	-1.91	-2.31
Maggio	-6.36	-6.42	-6.62	-6.01	-6.46
Giugno	-9.97	-10.29	-10.41	-9.92	-10.67
Luglio	-12.47	-12.64	-12.56	-12.07	-12.96
Agosto	-10.65	-10.56	-10.67	-9.94	-10.71
Settembre	-6.51	-6.11	-6.12	-5.28	-5.93
Ottobre	-3.51	-2.89	-2.49	-1.98	-2.55
Novembre	-1.42	-1.14	-0.77	-0.62	-0.71
Dicembre	-0.38	-0.12	-0.09	-0.04	-0.05
Total	-55.36	-53.79	-53.18	-48.39	-53.41

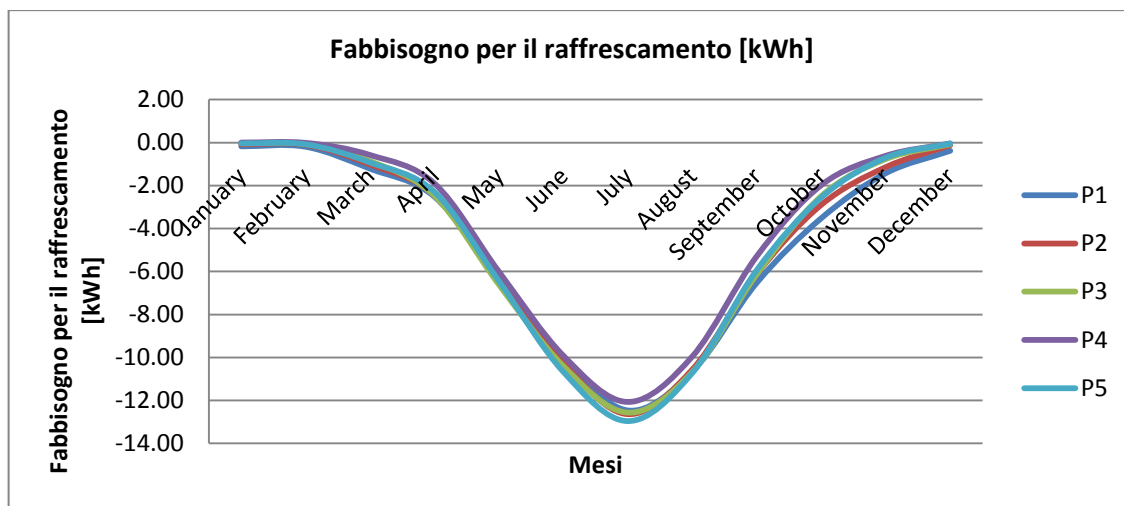


Figura 156 Confort termico dei passanti nella corte, fabbisogno per il raffrescamento [kWh]

5.0 MASTERPLAN C

Alla fine delle simulazioni è stato possibile definire un nuovo masterplan, in grado di rispondere correttamente ai requisiti termici del sito. Il concetto del nuovo masterplan è la Medina araba, che è stata progettata a partire dal disordine, ricreando poi una sagoma ordinata composta da edifici quadrilateri irregolari. Il primo passo è stato definire una griglia perpendicolare alle direzioni principali del vento, ovvero il vento da Nord- Ovest ed il vento da Sud. Successivamente è stato individuato l'asse centrale di sviluppo, ovvero la costellazione del Cancro. A partire dalla costellazione sono stati definiti due assi a distanza 70 [m] dal centro, come primo sviluppo. Successivamente sono state ricavate i due assi stradali esterni, ad una distanza di 100 [m] dal centro, questi assi stradali sono il principale accesso al campus, ma

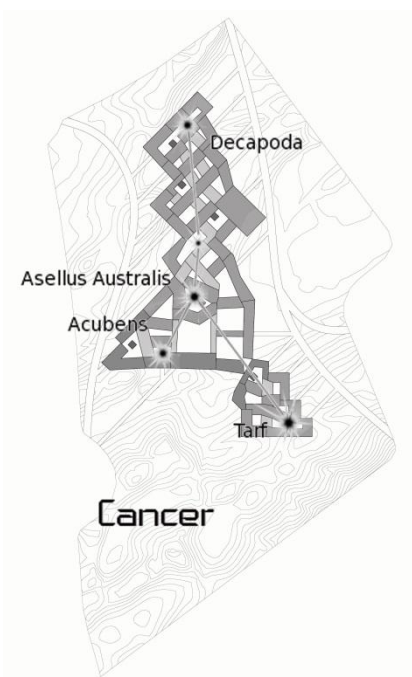


Figura 157 Masterplan C. Concept

nello stesso tempo sono un limite di sviluppo per lo stesso. Il tema è l'aggregazione: la città araba nasce dall'aggregazione di abitazioni legate da una relazione familiare, e lo stesso accade nel progetto: l'asse principale interseca i primi edifici, a cui si aggregano i successivi, con un forte senso relazionale e funzionale. Le funzioni sono leggibili grazie alla posizione delle stelle, durante la notte, e delle torri del vento durante il giorno. La stella *Decapoda* rappresenta i laboratori, *Asellus Australis* la social area ed il learning centre, *Acubensis* la residenza e lo sport, ed infine *Tarf* la residenza famigliare.

5.1 APPROCCIO BIOCLIMATICO

I seguenti elementi riassumono la ricerca bioclimatica del progetto.

- Gli edifici esterni sono più alti di quelli interni, proteggendoli dal sole, dal vento e dalla sabbia.
- Le strade attraversano gli edifici e le corti: esse sono ombreggiate dagli edifici.
- Le strade sono irregolari, aumentando la privacy e creando svariate prospettive durante il percorso.
- Gli edifici sono di forma quadrangolare, a corte. Essi sono in contatto gli uni con gli altri, massimizzando il volume interno, e minimizzando la superficie esterna.
- Gli edifici esposti a Sud, ovvero al vento nel mese di Agosto, presentano poche aperture.
- La vegetazione è stata posizionata all'esterno ed interno del masterplan, in modo da ridurre l'infiltrazione di sabbia provocata dal vento, ma nello stesso tempo migliorare il confort termico igrometrico.
- Le torri del vento e le torri solari raffrescano le corti e gli edifici.
- I vani scala sui tetti sono orientati perpendicolarmente al vento da Nord- Ovest, creando un camino per la ventilazione naturale all'interno degli edifici.

- Gli atrium si presentano come degli spazi a tutta altezza perpendicolari al vento da Nord Ovest, con aperture auto regolabili, in grado di garantire un buon raffrescamento degli edifici limitrofi e delle corti.

5.1.1 LE FUNZIONI

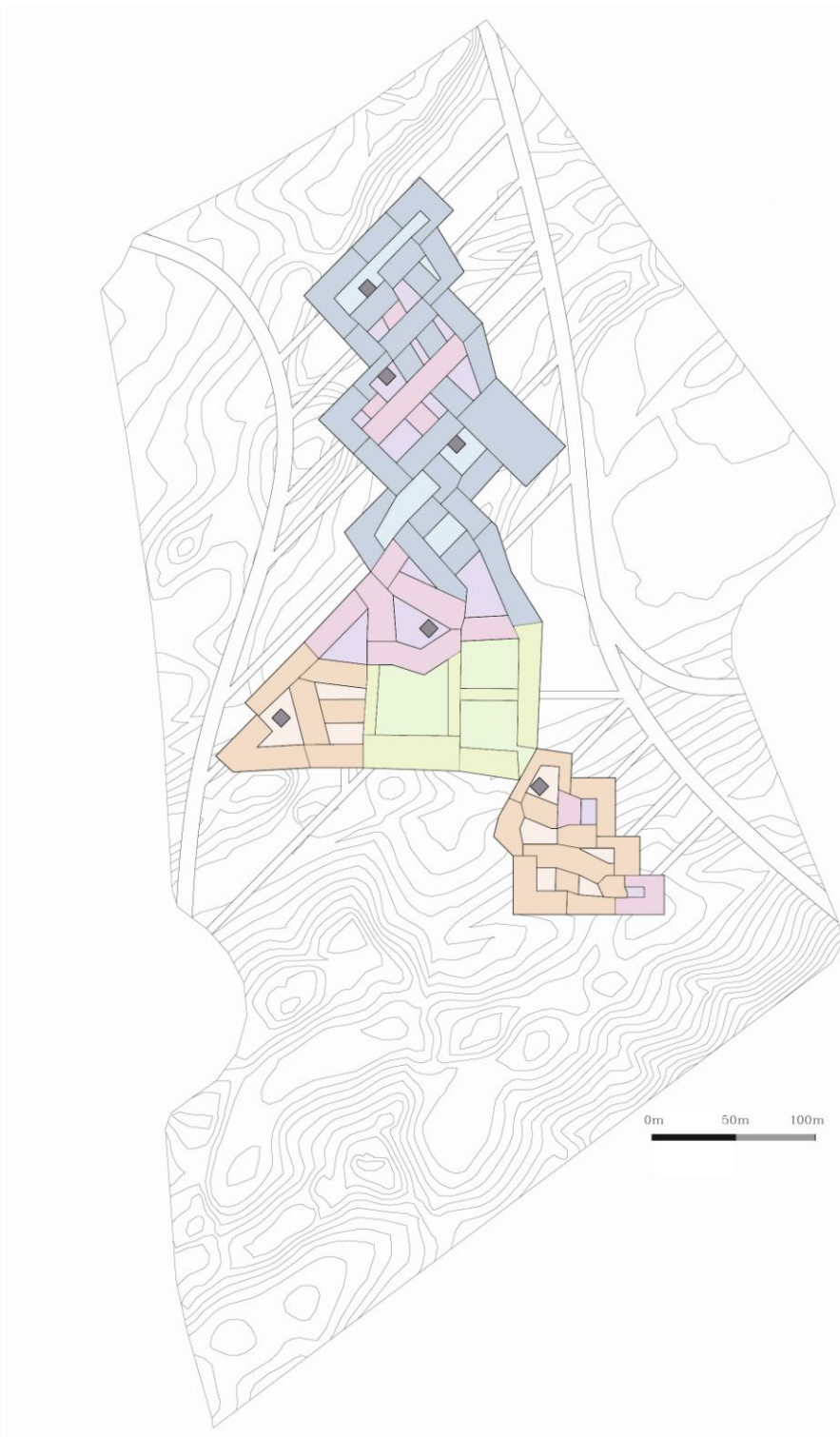


Figura 158 Masterplan C. Funzioni

In blu i laboratori, in arancione la residenza, in verde lo sport, in rosa le aree comuni.

Le diverse funzioni sono state individuate a partire dalla richieste del Dr Vigliotti. Nel progetto sono state organizzate le funzioni a partire dal rapporto tra di esse, e tra il campus EPFL e l'università di Ras Al Khaimah.

Tabella 47 Masterplan C. Funzioni ed aree

Edificio	Area[m ²]	Atrium	Area[m ²]	Funzione
1	1691.16	108	1583.16	Laboratori ed infrastrutture
2	1271.16	107.73	1163.43	Laboratori ed infrastrutture
3	3245.78	0	3245.78	Laboratori ed infrastrutture
6	1266.705	0	1266.705	Laboratori ed infrastrutture
7	1676.17	0	1676.17	Laboratori ed infrastrutture
8	413.04	0	413.04	Laboratori ed infrastrutture
9	1371.98	0	1371.98	Laboratori ed infrastrutture
10	1266.705	0	1266.705	Laboratori ed infrastrutture
11	206.38	0	206.38	Social area
13	1681.44	0	1681.44	Laboratori ed infrastrutture
14	772.98	18	754.98	Laboratori ed infrastrutture
15	392.98	0	392.98	Laboratori ed infrastrutture
16	391.87	0	391.87	Laboratori ed infrastrutture
17	168.95	0	168.95	Social area
18	1899.37	35.95	1863.42	Laboratori ed infrastrutture
19	3503.37	0	3503.37	Centro della formazione
20	1287.23	0	1287.23	Laboratori ed infrastrutture
21	595.4	0	595.4	Laboratori ed infrastrutture
22	373.46	0	373.46	Social area
23	1533.56	0	1533.56	Laboratori ed infrastrutture
24	1971.57	0	1971.57	Laboratori ed infrastrutture
25	8402.36	0	8402.36	Laboratori ed infrastrutture
26	668.47	0	668.47	Laboratori ed infrastrutture
27	1259.46	0	1259.46	Laboratori ed infrastrutture
28	1240.4	0	1240.4	Laboratori ed infrastrutture
29	638.08	0	638.08	Laboratori ed infrastrutture
30	990.96	0	990.96	Laboratori ed infrastrutture
31	1353	0	1353	Laboratori ed infrastrutture
32	1913.02	189.57	1723.45	Laboratori ed infrastrutture
33	1856.64	215.79	1640.85	Social area
34	700.5	0	700.5	Social area
35	2728.85	0	2728.85	Laboratori ed infrastrutture
36	2303.81	0	2303.81	Centro della formazione
37	1943.32	0	1943.32	Centro della formazione
38	1369.62	0	1369.62	Social area
39	2986.58	0	2986.58	Sport
40	2699.55	0	2699.55	Centro della formazione
43	1481.62	0	1481.62	Residenza
44	1947.48	93.54	1853.94	Residenza
45	1196.91	0	1196.91	Residenza

Edificio	Area[m ²]	Atrium	Area[m ²]	Funzione
46	622.8	0	622.8	Sport
47	747.06	0	747.06	Sport
48	767.94	0	767.94	Sport
49	1732.86	0	1732.86	Sport
50	1099.42	0	1099.42	Sport
51	1414.64	0	1414.64	Residenza
52	1080.52	0	1080.52	Residenza
54	2990.26	0	2990.26	Residenza
56	1514.97	0	1514.97	Residenza
57	1347.48	0	1347.48	Residenza
58	997.11	0	997.11	Residenza
59	481.94	0	481.94	Social area
60	1764.94	0	1764.94	Residenza
61	948.18	0	948.18	Residenza
62	2128.16	0	2128.16	Residenza
63	1302.66	0	1302.66	Residenza
64	2363.52	0	2363.52	Residenza
65	365.36	0	365.36	Residenza
66	410.46	0	410.46	Residenza
67	1044	0	1044	Residenza
68	1633.92	0	1633.92	Social area

VIGLIOTTI

Laboratori ed infrastrutture: 32,000.00 [m²]

Learning+ social area: 15,200.00 [m²]

Residenza: 22,000.00 [m²]

Sport: 20,000.00 [m²]

Totale: 89,200.00 [m²]

MASTERPLAN

Laboratori ed infrastrutture: 41,464.45 [m²]

Learning+ social area: 10,450.05 [m²]

Residenza: 24,204.73 [m²]

Sport: 7,956.66 [m²]

Totale: 90,651.51 [m²]

Di seguito vengono illustrate le funzioni.

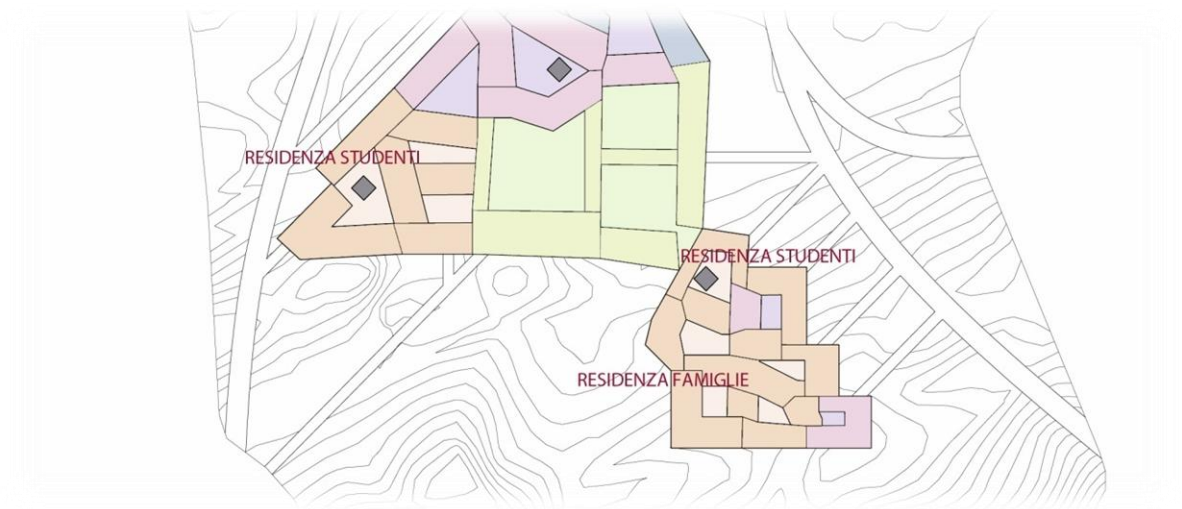


Figura 159 Funzioni. Residenza

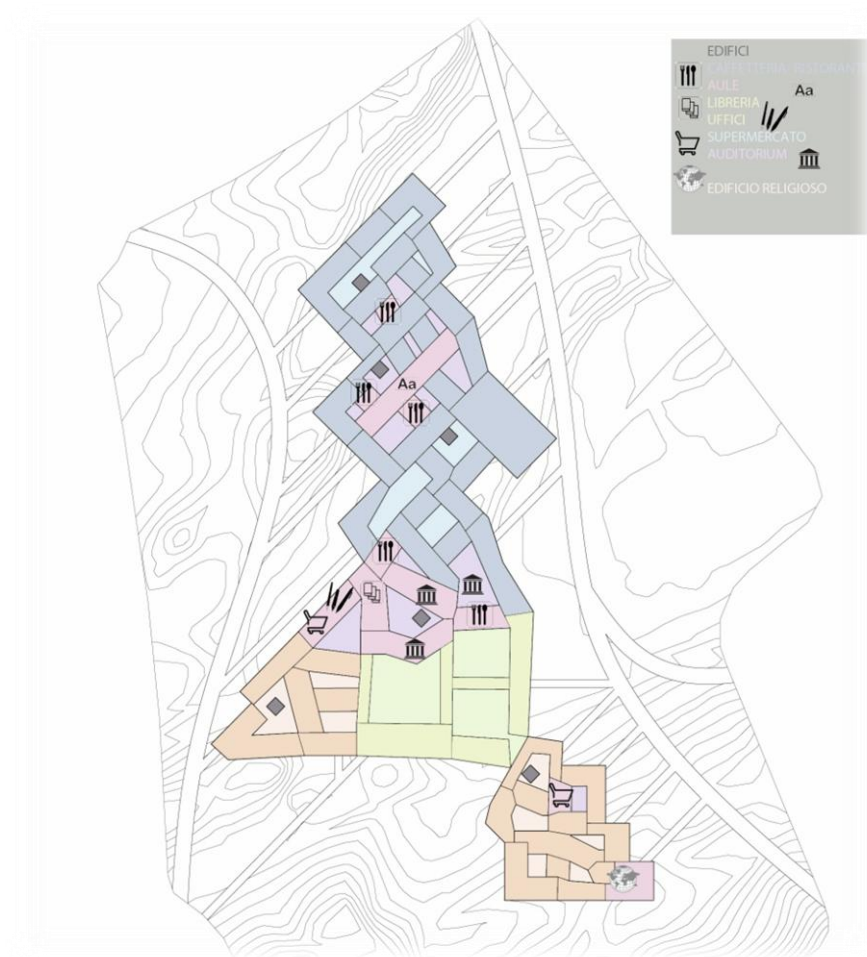


Figura 160 Funzioni. Learning e social area



Figura 161 Funzioni. Sport

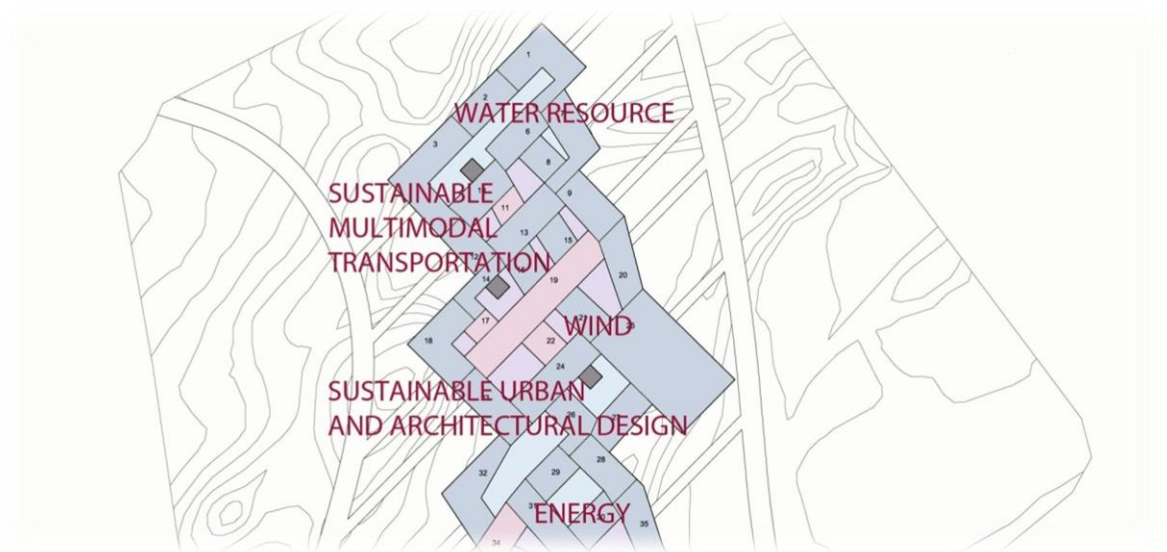


Figura 162 Funzioni. Laboratori

5.1.2 VISTE A PROGETTO

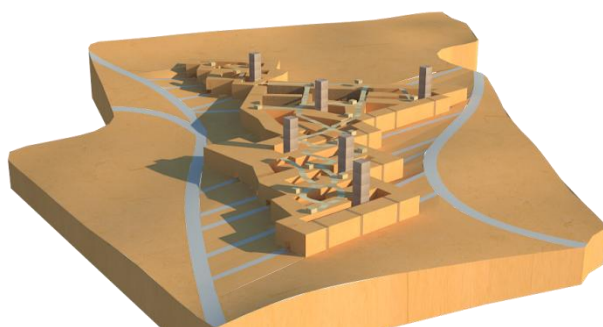


Figura 163 Masterplan C. Vista da Nord

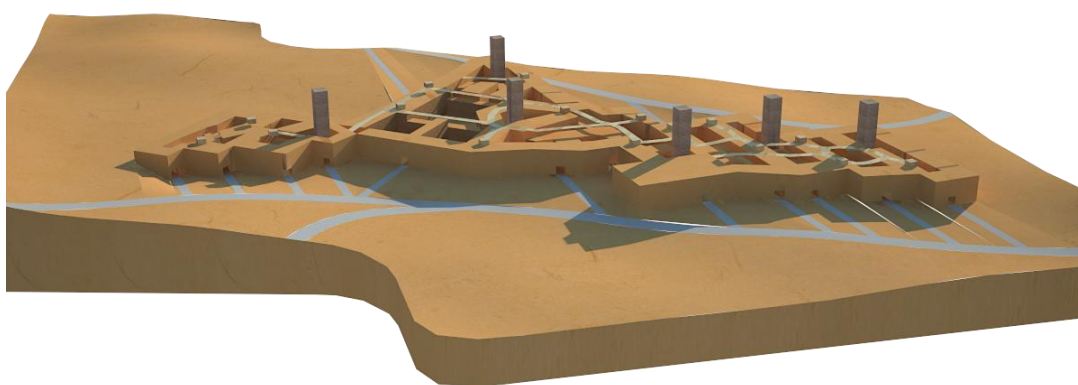


Figura 164 Masterplan C. Vista da Est

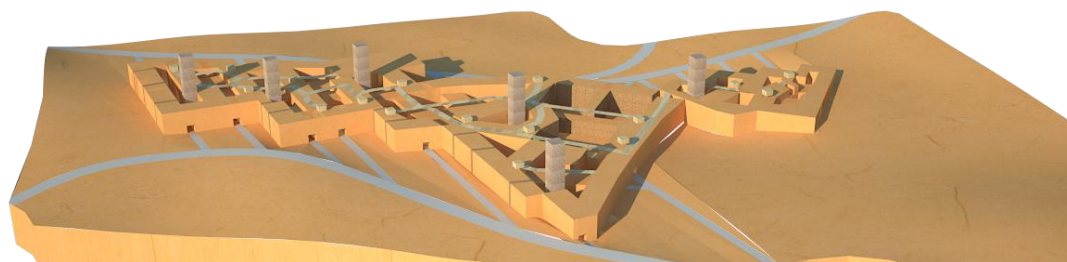


Figura 165 Masterplan C. Vista da Ovest

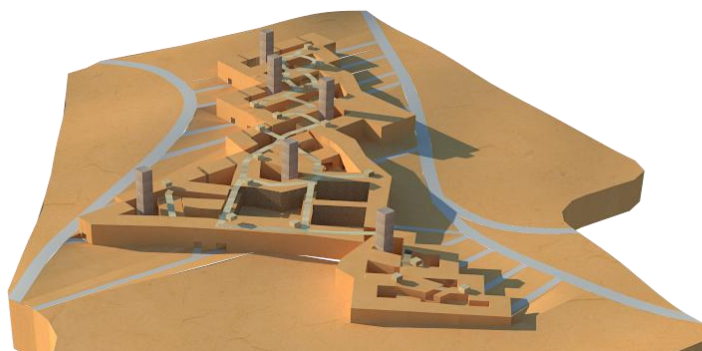


Figura 166 Masterplan C. Vista da Sud

5.1.3 IMMAGINI DEL PROGETTO

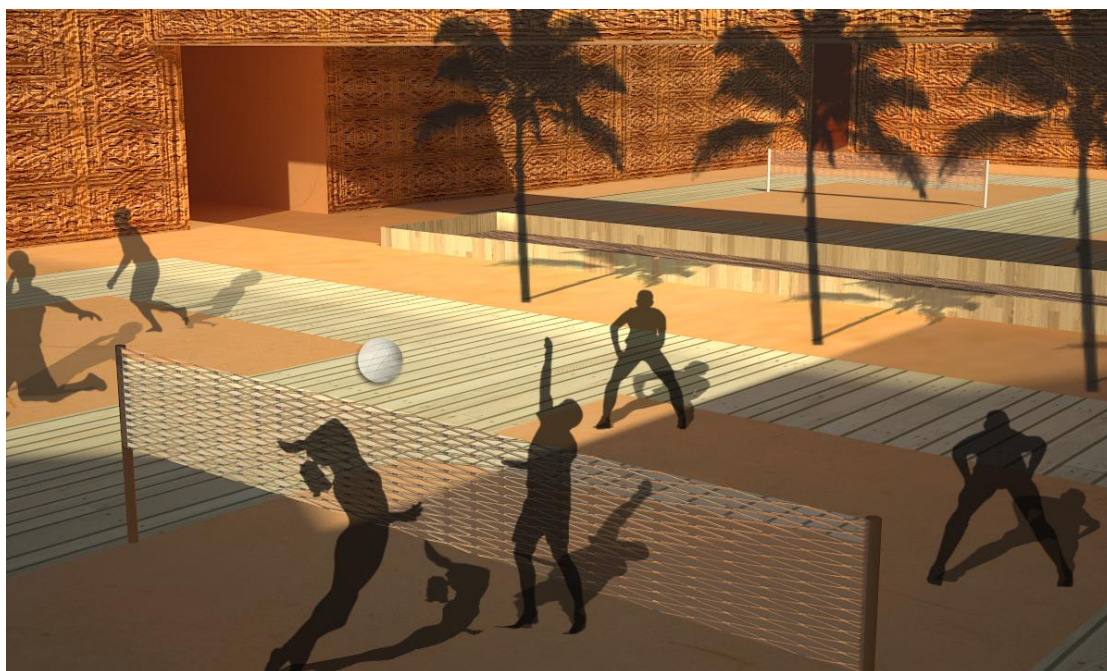


Figura 167 Vista sulla corte sportiva

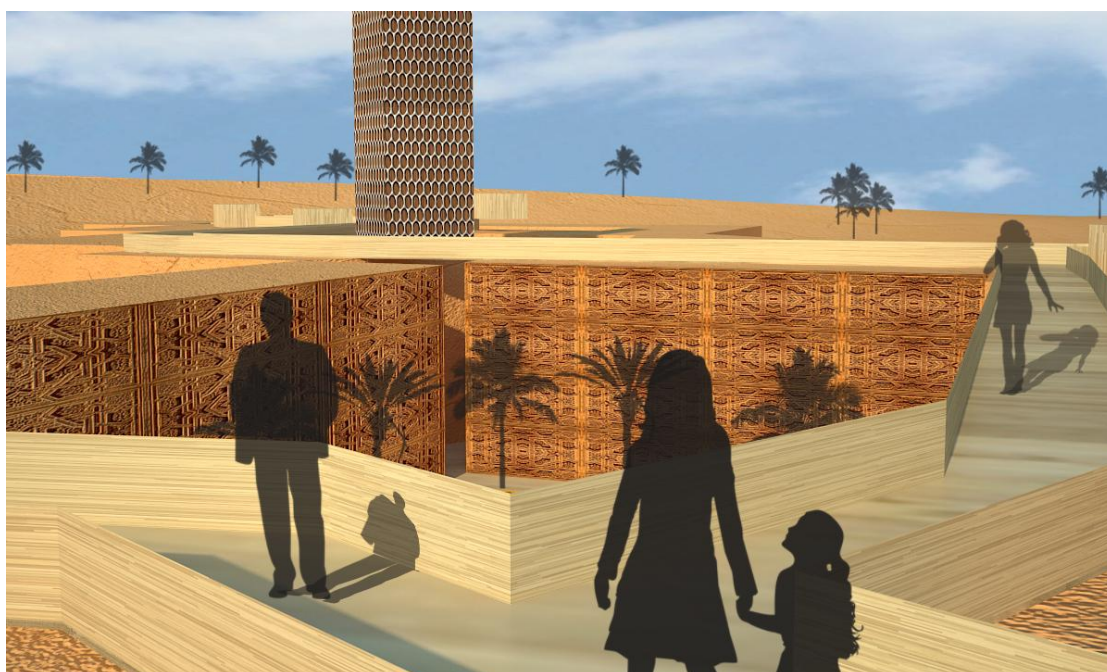


Figura 168 Vista del percorso sulle coperture



Figura 169 Vista della zona ristorazione



Figura 170 Vista nella corte centrale



Figura 171 Fotoinserimento del progetto

5.1.4 I PERCORSI PEDONALI_ CICLABILI_ GLI ACCESSI CARRAI

Sono state individuate quattro tipologie di percorso all'interno del campus: la mobilità è principalmente pedonale, ipotizzando un accesso carraio per ogni corte, con funzione di servizio e sicurezza in caso di emergenza.

Di seguito vengono indicate le tipologie di percorso individuate. Il percorso principale, di 2.50 [m] di larghezza, è basato sulla costellazione del Cancro. Questo percorso si snoda nelle corti, attraversando gli edifici.

Vi è un secondo percorso interno agli edifici, attraverso i corridoi interni. Questo percorso ricalca uno dei caratteri dell'EPFL, ovvero il libero accesso di ogni edificio.

Un terzo percorso si snoda sui tetti, di 4.50 [m] di larghezza, ad un unico livello, ciclabile e pedonale. La dimensione è definita a partire dal DECRETO MINISTERIALE 30 novembre 1999, n. 557 "Regolamento recante norme per la definizione delle caratteristiche tecniche delle piste ciclabili" art.7 : *"Tenuto conto degli ingombri dei ciclisti e dei velocipedi, nonché dello spazio per l'equilibrio e di un opportuno franco laterale libero da ostacoli, la larghezza minima della corsia ciclabile, comprese le strisce di margine, è pari ad 1,50 m; tale larghezza è riducibile ad 1,25 m nel caso in cui si tratti di due corsie contigue, dello stesso od opposto senso di marcia, per una larghezza complessiva minima pari a 2,50 m."* Viene quindi prevista una pista ciclabile a doppio senso di marcia, di larghezza pari a 3.00 [m], affiancata da un percorso pedonale di 1.50 [m]. Questo percorso si snoda tra i tetti, grazie a piste ciclabili e ponti sospesi. Si presume un utilizzo prettamente notturno ed invernale dello stesso.

Infine sono stati progettati due assi stradali carrai esterni, di larghezza pari a 10 [m]. Questi percorsi costeggiano esternamente il campus, e da essi si diradano le strade, larghe 5 [m], di accesso ad ogni corte. Queste strade attraversano gli edifici esterni, per un'altezza di 4 [m], in modo da garantire l'accesso ai mezzi d'emergenza. La normativa svizzera a riguardo "Norme de protection incendie", 2008 nell'articolo 58 riguardo all'accesso per i pompieri, definisce che "Les bâtiments, ouvrages et installations doivent garantir un libre accès en tout temps permettant une intervention rapide et efficace des sapeurs-pompiers." Le dimensioni delle strade sono state definite osservando l'ingombro di un'autobotte, che è pari a 6.5[m] in lunghezza, 2.4 [m] in larghezza e 3.0 [m] di altezza.

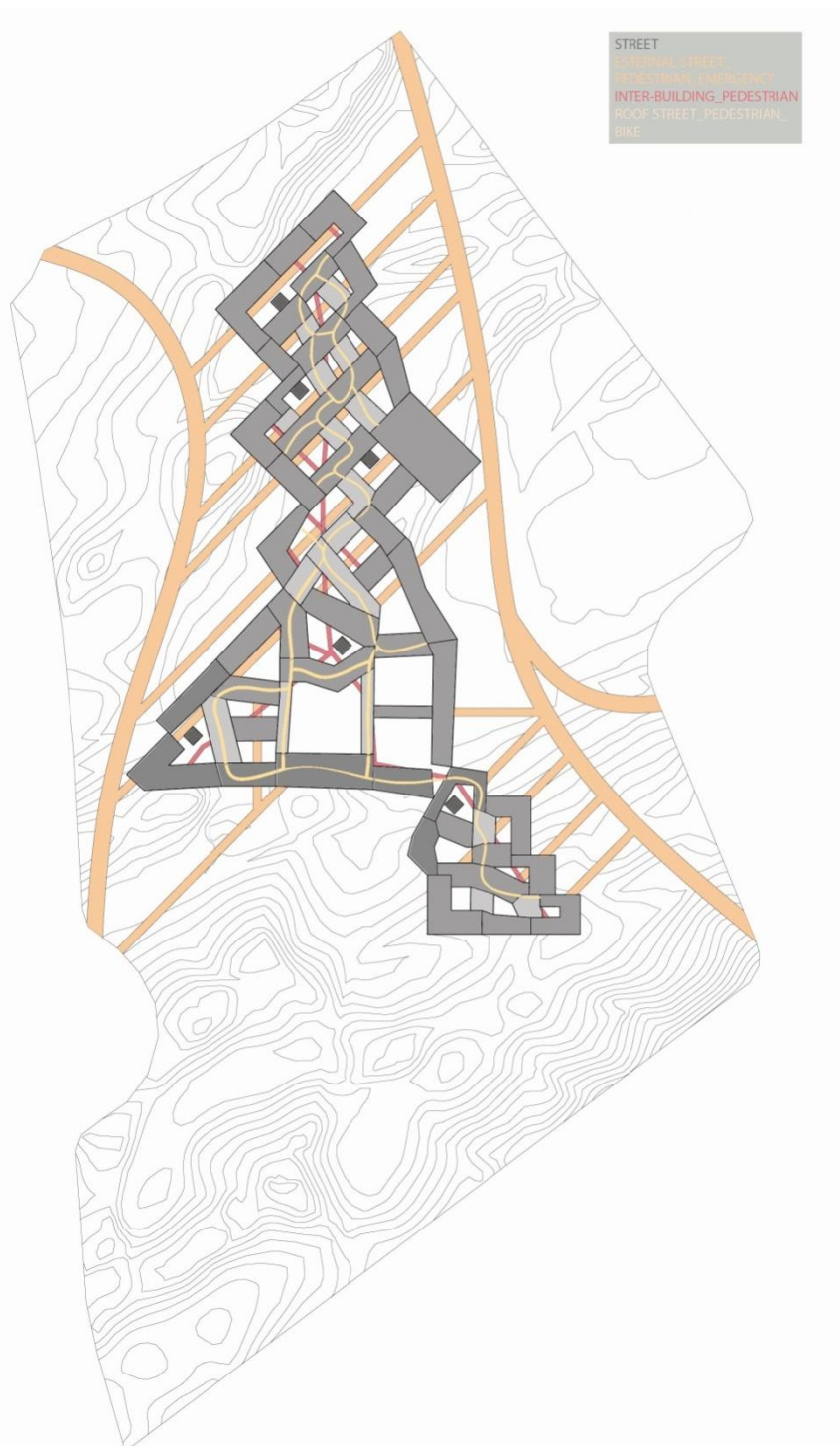


Figura 172 I percorsi pedonali, ciclabili, gli accessi carrai

5.1.5 IL FLUSSO DELLE PERSONE NEL CAMPUS

In questo paragrafo è stato analizzato come le persone possono muoversi all'interno del progetto. L'obiettivo di quest'analisi è la definizione dei principali punti focale di aggregazione. Sono state studiate due ipotetici soggetti, S1 e S2, durante un'intera giornata, ipotizzando i loro spostamenti nelle diverse ore. Ad esempio S1 abita nella zona Sud- Est del campus, e la mattina si sposta a piedi per raggiungere il laboratorio in cui studia. Durante la giornata si reca in biblioteca, al ristorante, spostandosi a piedi

attraverso gli edifici. La sera si reca al centro sportivo, e dopo aver cenato a casa esce, in bicicletta, per recarsi nel locale sul tetto, nella zona Nord del Campus.

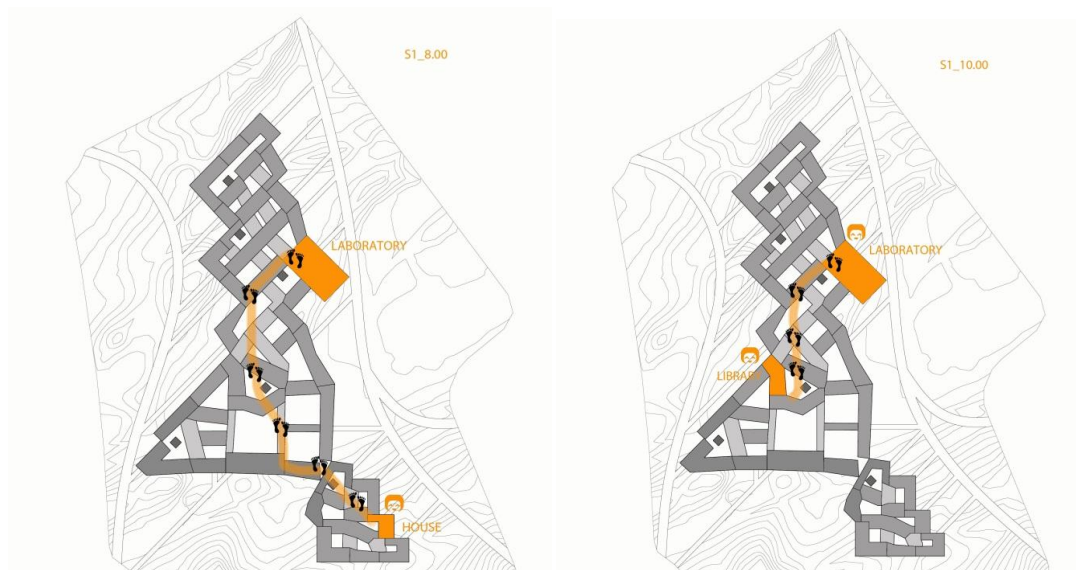


Figura 173 Flusso delle persone. Soggetto S1, ore 8.00 e 10.00



Figura 174 Flusso delle persone. Soggetto S1, ore 12.00 e 18.00



Figura 175 Flusso delle persone. Soggetto S1, ore 22.00 , soggetto S2 ore 8.00



Figura 176 Flusso delle persone. Soggetto S2, ore 10.00 e 12.00



Figura 177 Flusso delle persone. Soggetto S2, ore 18.00 e 22.00

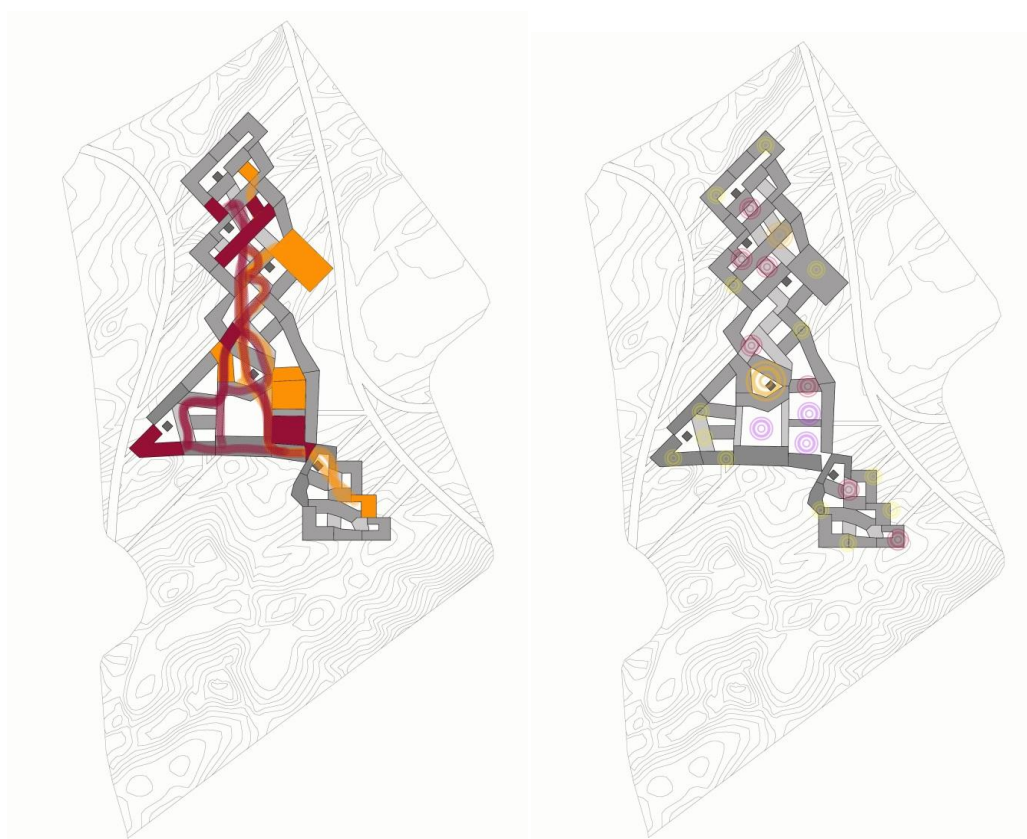


Figura 178 Sovrapposizione dei flussi S1 e S2, ed individuazione dei principali punti di aggregazione

L'analisi dei percorsi ha permesso di individuare i passaggi preferenziali durante la giornata. Infatti la sera è preferibile utilizzare le piste ciclabili sul tetto, mentre nelle ore più calde della giornata è meglio utilizzare i percorsi interni agli edifici. Inoltre la definizione dei punti principali di aggregazione ha permesso di identificare la funzione

sociale come ottimale nell'area centrale, in quanto luogo di incontro per la popolazione del campus.

5.1.6 LA VEGETAZIONE

A progetto è previsto di realizzare dei giardini all'interno delle corti, e nella fascia compresa tra la fine degli edifici e gli assi stradali. Le piante a progetto derivano dalla tradizione locale, sono quindi piante in grado di vivere nel clima desertico, senza bisogno di essere irrigate, se non nei primi mesi di vita. La vegetazione ha diverse funzioni: in primis quella esterna agli edifici permette di rallentare lo spostamento delle dune, riducendo quindi il movimento della sabbia. Le piante interne invece rispondono ai confort descritti da Givoni, ovvero:

- Riduzione del livello di inquinanti nell'aria, prodotti dai trasporti, le industrie e le abitazioni.
- Creazione di spazi per attività sociali, e luoghi d'aggregazione.
- Sviluppo di una percezione positiva dei soggetti riguardo all'estetica della città.
- Separazione territoriale dei diversi quartieri e funzioni.
- Miglioramento della mobilità sostenibile.
- Salvaguardia della flora e della fauna.
- Protezione dalle alluvioni, grazie alla capacità delle piante di assorbire l'acqua.
- Creazione di zone ombrate, protezione dai venti e dalle tempeste di sabbia, riduzione della temperatura.

La vegetazione può inoltre influenzare il microclima urbano, grazie alla capacità delle piante di:

- Avere una bassa capacità termica a conduttività.
- Assorbire l'irradiazione solare, riducendo la radiazione riflessa e l'albedo.
- Aumentare l'umidità nell'aria, grazie all'evaporazione dell'acqua trattenuta dalle foglie e dal terreno.
- Filtrare la polvere dall'aria.
- Ridurre la velocità e l'intensità del vento.

Il tema del movimento delle dune è legato al progetto della vegetazione: l'idea non è di fermare il deserto, ma di proteggere l'area intorno al masterplan: il deserto continua a spostarsi, come luogo in continua creazione, ma l'area intorno al campus viene protetta dalla vegetazione.

All'interno delle corti sono previsti dei giardini in palme e fiori del deserto, come i Desert ephemerals, giacinti ed i Thumbs, i quali fioriscono durante la primavera, donando al deserto una splendida colorazione. Durante l'inverno, dopo le piogge, dalla sabbia del deserto emergono numerose piante, come le Senna Plants, Desert Sqashes, Eyelash plants e Blepharis. Queste piante hanno sviluppato la capacità di vivere nel clima desertico, grazie a riserve d'acqua nelle foglie, o la capacità di assorbire l'acqua dall'aria umida. Inoltre i loro semi possono sopravvivere a lunghi periodi di siccità.

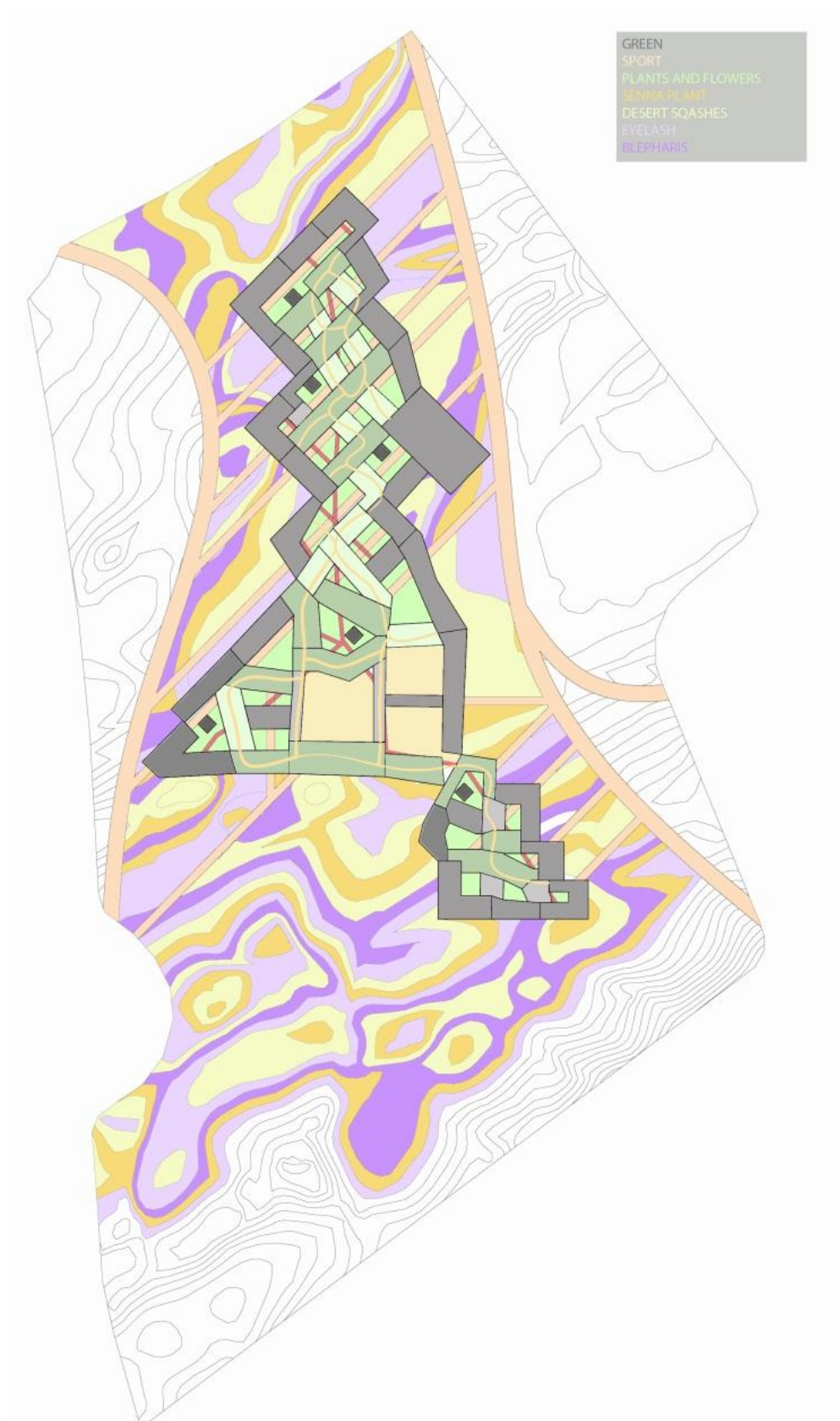


Figura 179 Masterplan C. Vegetazione

Le palme a progetto sono tutte in grado di vivere in clima arido, e necessitano di acqua solo nei primi anni di vita.

European Fan Palms (Chamaerops humilis)

Questa palma arriva ad un'altezza di 3- 5 [m], con foglie verdi- grigie. I fiori sono giallo- crema, ed i frutti sono piccoli e rotondi. Diametro 20- 30 [cm]



Figura 180 European Fan Palms (Chamaerops humilis). Fonte Wikipedia

Chinese Windmill Palm (Trachyparus fortunei)

Questa palma ha origini cinesi, e può arrivare ad un'altezza di 6- 10 [m]. Le foglie sono verdi- grigie, con delle florescenze gialle. Dev'essere piantata in gruppo.



Figura 181 Chinese Windmill Palm (Trachyparus fortunei). Fonte Wikipedia

Bismark Palm (Bismarckia nobilis)

Questa palma può arrivare ad un'altezza 10 [m], con un'ampia fronda fino a 6 [m]. Le fronde possono essere verdi o grigio- azzurre.



Figura 182 Bismark Palm (*Bismarckia nobilis*). Fonte Wikipedia

Australian Cabbage Palm (Livistona australis)

Questa palma ha origini australiane, e può arrivare ad un'altezza di 10- 15 [m]. Le foglie sono verde smeraldo.



Figura 183 Australian Cabbage Palm (*Livistona australis*). Fonte Wikipedia

Bermuda Palmetto (Sabal bermudana)

Questa pianta può vivere anche nei climi più aridi, ed arriva ad un'altezza pari a 5- 7 [m]



Figura 184 Bermuda Palmetto (*Sabal bermudana*). Fonte Wikipedia

Canary Island Date Palm (Phoenix canariensis)

Questa pianta è originaria delle Canarie, e può vivere in qualsiasi clima. Arriva ad un'altezza di 15 [m].



Figura 185 Canary Island Date Palm (*Phoenix canariensis*). Fonte Wikipedia

Date Palm (Phoenix dactylifera)

Questa palma può vivere dal clima tropicale al temperato, e produce i datteri, per questo motivo è spesso piantata nei giardini privati.



Figura 186 Date Palm (Phoenix dactylifera). Fonte Wikipedia

Queen Palm (Syagrus romanzoffiana)

Questa palma può arrivare ad un'altezza 20 [m], e presenta una folta fronda verde smeraldo.



Figura 187 Queen Palm (Syagrus romanzoffiana). Fonte Wikipedia

5.1.7 IL CENTRO SPORTIVO

Il centro sportivo è stato progettato come un luogo di incontro e relax. La tradizione dell'EPFL in Svizzera è particolarmente legata allo sport: il centro sportivo dell'università lungo il lago Lemano è dotato di palestre, campi da tennis, beach volley, calcio, rugby.. e numerose altre attività tra cui il centro nautico. Per questo motivo una parte del campus a Ras Al Khaimah è stata dedicata allo sport. Le aree sono suddivise in sport interno ed esterno. Sono stati selezionati alcuni sport tipicamente europei, che però vengano praticati negli Emirati Arabi, e tra essi sono stati scelti il calcio, tennis e pallavolo. Questi sport si svolgono in squadra, un tema caro nell'università, per creare rapporti inter- relazionali. Il punto fondamentale di questi sport è che possono essere giocati su sabbia: infatti risulta poco sostenibile ipotizzare un campo da calcio su erba, che richiede ingenti quantità d'acqua per essere mantenuto. I campi esterni a progetto sono quindi un campo da calcetto, due da beach tennis, due da tennis ed una parete d'arrampicata esterna. Internamente sono state ipotizzate due palestre per il fitness, ed una palestra in grado di ospitare un campo da pallacanestro, pari a 15.00 * 28.00 [m].

Le corti esterne sono state disegnate per ospitare i campi da gioco, e vengo descritte di seguito.

Corte del beach soccer

Il campo da gioco ha dimensioni pari a 37.00 * 28.00 [m], inserito in un perimetro totale di 39.00 * 30.00 [m], con una zona di sicurezza di 2 [m] su tutti i lati. La porta ha dimensioni pari a 5.50 * 1.50 [m], ed un'altezza pari a 2.20 [m]. Il numero massimo di giocatori è 5 per squadra.

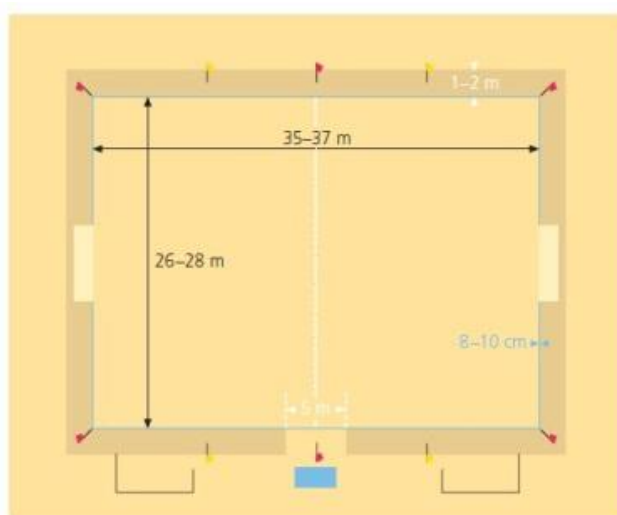


Figura 188 Beach soccer[29]

Corte del beach volley

Il beach volley è uno sport di squadra, che si svolge su di un campo di sabbia. Le dimensioni del campo sono di 8.00 * 16.00 [m], con un rete di separazione alta 2.24 [m] per le donne, e 2.43 [m] per gli uomini. Nel progetto sono provvisti due campi da gioco, accostati tra loro come visibile nella figura sottostante, occupanti un'area totale di 24.00*28.00 [m], con un corridoio tra i due campi di 5.00 [m].

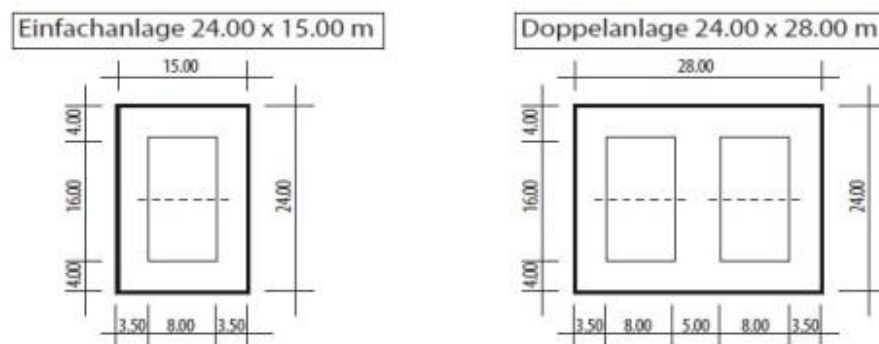


Figura 189 Campo da beach- volley [30]

Corte del beach tennis

Il campo da gioco del beach tennis ha dimensioni pari a 8.00×16.00 [m]; i due campi sono posizionati in linea, con un corridoio di separazione pari a 5 [m], e 4 [m] di protezione dall'esterno.

Le corti dello sport sono molto ampie rispetto alle altre, creando alcuni problemi per l'alta radiazione solare all'interno. Per questo motivo queste corti verranno dotate di protezioni esterne, ovvero le Mashrabiya.

Il termine Mashrabiya significa, in arabo, "bere" ed era in origine il luogo in cui "si beveva". Il Mashrabiya venne introdotto nel XVI secolo dai Turchi, per proteggere le ampie vetrate degli edifici, ricoperto da dei pannelli in legno traforati. All'interno di questo spazio venivano poste delle giare d'acqua, che servivano per raffrescare ed umidificare l'aria esterna. Sopra l'aggetto veniva posta una finestra, protetta con dei pannelli in legno, dalla quale usciva l'aria calda che si accumulava nella stanza. Oggi con il termine Mashrabiya vengono descritti tutte le aperture dotate di pannelli lignei con decorazioni geometriche.

A livello bioclimatico la Mashrabiya permette di:

- Controllare il passaggio della luce.
- Controllare i flussi d'aria.
- Ridurre la temperatura dell'aria ed umidificarla.
- Assicurare la privacy.

5.2 PROGETTAZIONE SOSTENIBILE

Il masterplan si propone come un campus sostenibile, a livello energetico, economico e sociale. Per questo motivo questo capitolo è dedicato allo studio delle risorse naturali locali, ed il loro miglior utilizzo.

5.2.1 IL RECUPERO DELL'ACQUA PIOVANA

Le precipitazioni nell'area a progetto sono molto ridotte, come analizzato nel capitolo 1, e come riassunto nella tabella sottostante.

Tabella 48 Ras Al Khaimah. Precipitazioni mensili [mm]. Dati Meteonorm, rielaborazione su excel

Precipitazioni [mm]		
	Media [mm]	Totale [mm]
Gennaio	0.06	48.00
Febbraio	0.03	20.80
Marzo	0.02	15.70
Aprile	0.00	0.50
Maggio	0.00	0.00
Giugno	0.00	0.00
Luglio	0.00	0.00
Agosto	0.00	0.00
Settembre	0.00	0.00
Ottobre	0.00	0.00
Novembre	0.01	4.90
Dicembre	0.03	19.40
Totale		109.30

La pioggia è limitata nei mesi invernali, da novembre a marzo, con un valore massimo di precipitazioni pari a 48.00 [mm] nel mese di gennaio. L'elemento interessante a fini progettuali è comprendere quanta acqua può essere raccolta e riutilizzata. La normativa di riferimento per il calcolo è la E DIN 1989- 1 2000-12, che definisce la seguente formula:

$$R = S * V_p * V_t$$

Dove

S: Superficie tetto proiettata pari alla base della casa, indipendentemente dalla forma e dall'inclinazione, [m²]

V_p: Precipitazioni annuali totali [mm]

V_t: Valore copertura tetto. Varia in funzione del materiale di costruzione tetto. Ad esempio:

Tegola in argilla, cotta e smaltata 0,9

Tetto in cemento o ardesia 0,8

Tetti piani con inghiaia 0,6

Tetti verdi 0,4

Nell'area a progetto vi è una superficie totale delle coperture pari a 38,191.97 [m²], il valore della copertura del tetto è pari a 0.80 e le precipitazioni annuali totali sono 109.30 [mm]. La formula viene quindi risolta come segue:

$$109.30 \times 38,191.97 \times 0.800 = 3,339,505.86 \text{ [l]}$$

Successivamente è stato individuato il fabbisogno di acqua per persona giornaliera, secondo la normativa SIA "*Utilisation rationnelle de l'eau potable dans les bâtiments*".

Tabella 49 SIA "*Utilisation rationnelle de l'eau potable dans les bâtiments*".

Uso	Quantità minima [litri per persona giornalieri]	Percentuale
Bevande, cucina e lavaggio	27	17
Igiene personale	21	13
Bagno	32	20
Scarico WC	47	29
Macchina per lavare	31	19
Altro (irrigazione..)	4	2
Totale	162	100

Il numero delle persone a progetto nel campus sono state definite dal Dr Vigliotti come segue:

Tabella 50 La popolazione a progetto nel Campus. Dati confidenziali forniti da Franco Vigliotti

Popolazione	Target 5-7 anni	Capacità totale del Campus 7-10 anni
Facoltà e staff scientifico	50	60
Amministrazione	10	15
Servizi, tecnici	20	40
Dottorandi	50	70
Studenti di Master	60	200
Visitatori	25	50
Totale	215	435

Moltiplicando il numero delle persone a progetto, ovvero la capacità del masterplan in 7-10 anni, per il fabbisogno giornaliero di acqua otteniamo un fabbisogno pari a 70,470.00 [l] giornalieri.

5.2.2 PRODUZIONE DI ACQUA POTABILE DALL'UMIDITÀ

Dallo studio effettuato nel primo capitolo risulta evidente il problema delle fonti acquifere negli Emirati Arabi, infatti la maggior parte dell'acqua deriva dalle fonti sotterranee e dalla desalinizzazione dell'acqua del Golfo, con gravi problemi legati all'equilibrio naturale del luogo. Le fonti sotterranee sono sfruttate, e secondo la stima di Z. S. Rizk e A. S. Alsharhan il rinnovo naturale dell'acqua è compreso tra 21.8 e 32.7 [Mm³/a], mentre la sottrazione per il consumo è pari 880 [Mm³/a]. Nel paragrafo precedente è stato analizzato il totale dell'acqua recuperabile dalle precipitazioni, che risulta però limitato rispetto al bisogno. Per questo motivo è stato ipotizzato un altro metodo, ovvero l'utilizzo di macchine per la creazione di acqua a partire dall'umidità atmosferica.

In primis è opportuno analizzare l'umidità relativa dell'aria, ovvero il rapporto tra l'umidità assoluta effettiva dell'aria e l'umidità assoluta di saturazione, come visibile nella tabella 51.

Tabella 51 Ras Al Khaimah. Umidità relativa [%]

RH Umidità relativa[%]	
Gennaio	69.76
Febbraio	70.01
Marzo	60.37
Aprile	49.30
Maggio	41.10
Giugno	47.00
Luglio	47.60
Agosto	49.73
Settembre	57.58
Ottobre	59.52
Novembre	63.49
Dicembre	67.29

L'umidità relativa risulta elevata, soprattutto nei mesi invernali, ma è opportuno definire l'umidità assoluta dell'aria, ovvero il quantitativo effettivo, espresso in grammi, di vapore acqueo contenuto in un metro cubo d'aria [g/m³]. Per definirla viene utilizzata la formula di Clausius-Clapeyron:

$$\rho_{sat} = 6.11 * 10.00^{\left(\frac{7.5*t}{237.7+t}\right)}$$

Dove

ρ_{sat} : pressione di saturazione del vapore [N/m²]

t: temperatura dell'aria [°C]

Trovata la pressione di saturazione è possibile definire l'umidità assoluta di saturazione dell'aria come segue:

$$Has = \frac{\rho_{sat}}{0.4617 * t}$$

Dove:

Has: umidità assoluta di saturazione dell'aria, ovvero il quantitativo massimo in g di vapore acqueo che può assorbire un metro cubo d'aria ad una data temperatura. L'umidità assoluta di saturazione è quindi direttamente legata alla temperatura dell'aria: più l'aria è calda, maggiore è la capacità dell'aria di contenere vapore acqueo. Per esempio l'aria ad una temperatura di 20°C può assorbire al massimo 17,7 g di vapore acqueo al metro cubo, mentre ad una temperatura di 10°C ne può assorbire al massimo 9,5 g.
[g/m³]

ρ_{sat}: pressione di saturazione del vapore [N/m²]

t: temperature dell'aria [K]

Infine l'umidità assoluta viene definita come:

$$Ha = Has * Hr$$

Dove:

Ha: umidità assoluta [g/m³]

Has: umidità assoluta di saturazione dell'aria [g/m³]

Hr: umidità relativa [%]

Nella tabella sottostante sono individuate i risultati mensili, espresso in [g/m³]: l'umidità assoluta è massima nei mesi estivi, con il valore massimo in Agosto pari a 19.83 [g/m³].

Tabella 52 Umidità assoluta mensile [g/m³].

Umidità assoluta [g/m ³]	
Gennaio	11.03
Febbraio	11.99
Marzo	12.20
Aprile	12.24
Maggio	13.30
Giugno	16.95
Luglio	19.45
Agosto	19.83
Settembre	19.37
Ottobre	16.61
Novembre	13.66
Dicembre	11.88

La compagnia israeliana EWA Technology produce delle macchine in grado di creare acqua a partire dall'umidità atmosferica: questo concept può essere molto interessante nel clima di Ras al Khaimah, dove l'acqua è limitata, ma l'umidità assoluta è alta. La EWA Technology può essere utilizzata in tutto il mondo: la macchina assorbe l'umidità dall'aria, e grazie alla radiazione solare viene estratta l'acqua potabile. L'idea dell'estrazione dell'acqua dall'umidità è stata definita dal Prof. Reginald E. Newell, docente all'MIT, nel 1993. Egli notò che nella troposfera, la parte inferiore dell'atmosfera, compresa tra 0- 15 [km], vi sono dei "sky rivers".

La tecnologia EWA Technology si compone in tre parti:

- Assorbimento dell'umidità dall'aria, grazie ad un'essiccazione chimica. La macchina può utilizzare l'aria fino ad un'umidità relativa pari al 20 [%], ed un'umidità assoluta pari a 5 [g/m³].
- De assorbimento dell'acqua assorbita.
- Condensazione.

EWA Technology può lavorare con diverse fonti energetiche, dal biogas all'inceneritore di rifiuti. La produzione della macchina è pari a :

- 1000 [l] di acqua con 50,000.00 [m³] d'aria.
- L'energia elettrica utilizzata è pari a 5 [W/l], ovvero sono necessari 5 [kW] per produrre 1,000 [l] d'acqua potabile.

La scheda tecnica della macchina è riportata nella figura 190.

Model	Daily water capacity (liters)	Retail Price (\$)
Type III 20	10,000	85,000
Type III 40	25,000	125,000

Characteristic	Type III 20	Type III 40
Daily water production	10 m ³	20-25 m ³
Size (m)	6.0 x 2.5 x 2.5	12.0 x 2.5 x 2.5
Weight (ton)	15	26
Control	Fully automatic	
Maintenance	○ Air filters – weekly ○ Minerals cartridge – according to water consumption (about weekly) ○ Cassettes replacement/recovery – annually	
Guarantee	One year (including training)	
Extra equipments	Electric generator Diesel/gas heater Water container	
Operations range	Minimum RH - 20% Ambient temperature 4°C to 45°C	

*1kg diesel = 11 kW, 1m³ natural gas = 10 kW

Energy source: Bio-waste plus agricultural waste		
Daily capacity (l/day)	Bio-waste (kg/l) Heat consumption	Electricity consumption (kWh/l)
10,000	0.026	0.00045
25,000	0.022	0.0003
Energy source: Natural Gas ^[2]		
Daily capacity (l/day)	gas (m ³ /l) Heat consumption	Electricity consumption (kWh/l)
10,000	0.03	0.00045
25,000	0.024	0.0003
Energy source: Diesel ^[1]		
Daily capacity (l/day)	Diesel (kg/l) Heat consumption	Electricity consumption (kWh/l)
10000	0.065	0.00045
100000	0.055	0.0003

^[1] 1kg diesel = 10,200 kcal or 11 kW

^[2] 1m³ natural gas = 8,600 kcal or 10 kW

Figura 190 EWA Technology. Scheda tecnica

Ipotizzando di utilizzare il modello Tipologia III 40, è possibile produrre 25,000 [l] al giorno, con un prezzo di affitto annuale pari a 125,000 [\$]. In totale è possibile produrre 9,125,000.00 [l] l'anno.

Ma come definire le fonti idriche per il progetto. In primis è interessante confrontare lo studio del Prof. Gleik nell'articolo "*Basic water requirements for human activities: meeting basic needs*"[31] riguardo al bisogno giornaliero minimo per persona, con la normativa svizzera.

Tabella 53 Prof. Gleik, fabbisogno minimo giornaliero di acqua

Utilizzo	Minimo raccomandato [litri per persona giornalieri]	Range [litri per persona giornalieri]
Bere	5	2 a 5
Igiene personale	20	0 a 75
Lavaggio	15	5 a 70
Cucinare	10	10 a 50
Totale	50	

Il fabbisogno minimo è quindi di 50 [l] a persona, ma adattando il campus ai fabbisogni svizzeri, viene definito un consumo giornaliero pari a 162 [l], dai quali possono essere tolti 51 [l] per i wc e l'irrigazione del giardino, per i quali è possibile usare acqua non potabile. Il consumo complessivo di acqua è riassunto nel grafico sottostante.

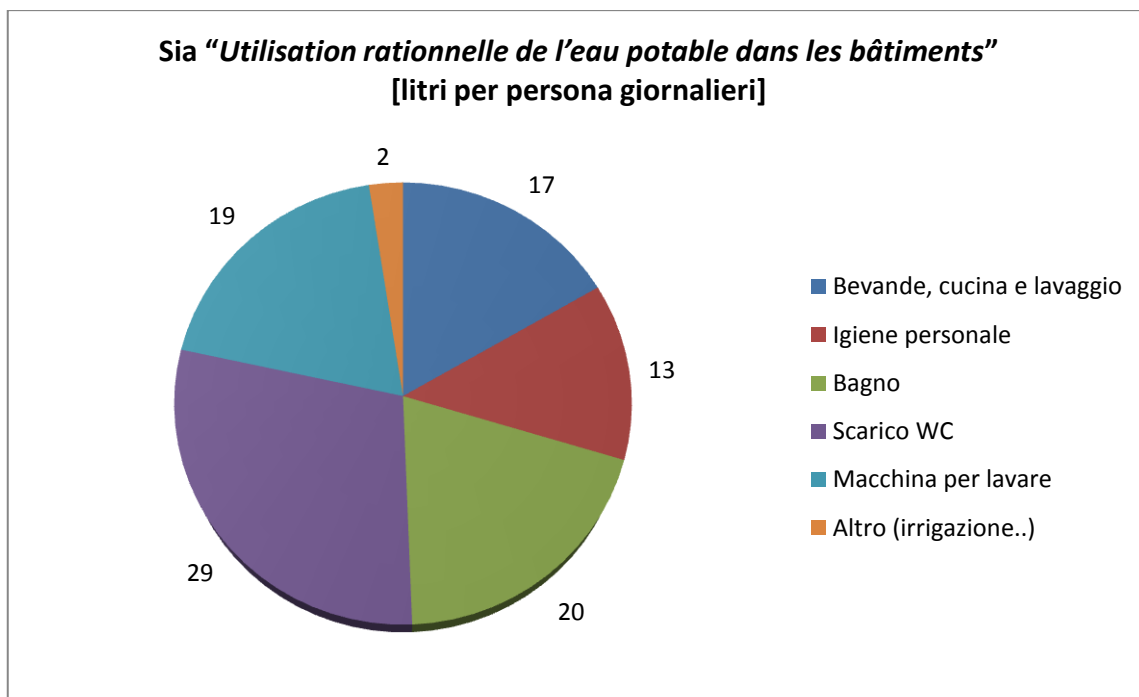


Figura 191 Consumo di acqua giornaliero

Uso	Quantità minima [litri per persona giornalieri]	Totale [litri giornalieri]	Totale [litri annuali]	Percentuale	Fonte
Bevande, cucina e lavaggio	27	11,745.00	4,286,925.00	17	EWA Technology
Igiene personale	21	9,135.00	3,334,275.00	13	EWA Technology
Bagno	32	13,920.00	5,080,800.00	20	EWA Technology
Scarico WC	47	20,445.00	7,462,425.00	29	Raccolta acqua piovana e recupero acque reflue
Macchina per lavare	31	13,485.00	4,922,025.00	19	EWA Technology
Altro (irrigazione..)	4	1,740.00	635,100.00	2	Raccolta acqua piovana
Totale	162	70,470.00	25,721,550.00	100	

Moltiplicando il consumo minimo per il numero di abitanti previsti, 435, è stato identificato il consumo totale necessario. Del 25,721,550 [l] l'anno, 48,285.00 [l] sono potabili, e 22,185.00 non potabili al giorno. La maggior parte dei consumi può essere coperto da due macchine di Ewa Technology, ed il restante tramite la raccolta dell'acqua piovana e la purificazione delle acque di scarto.

Tabella 54 Fonti d'acqua

Tipo d'acqua	Fabbisogno giornaliero [l]	Fabbisogno annuale [l]	Fonte	Annuale [l]	Giornaliero [l]
Potabile	48,285.00	17,624,025.00	EWA Technology	18,250,000.00	50,000.00
Non potabile	22,185.00	8,097,525.00	Raccolta piovana	3,339,505.86	
			Recupero reflue	4,758,019.14	

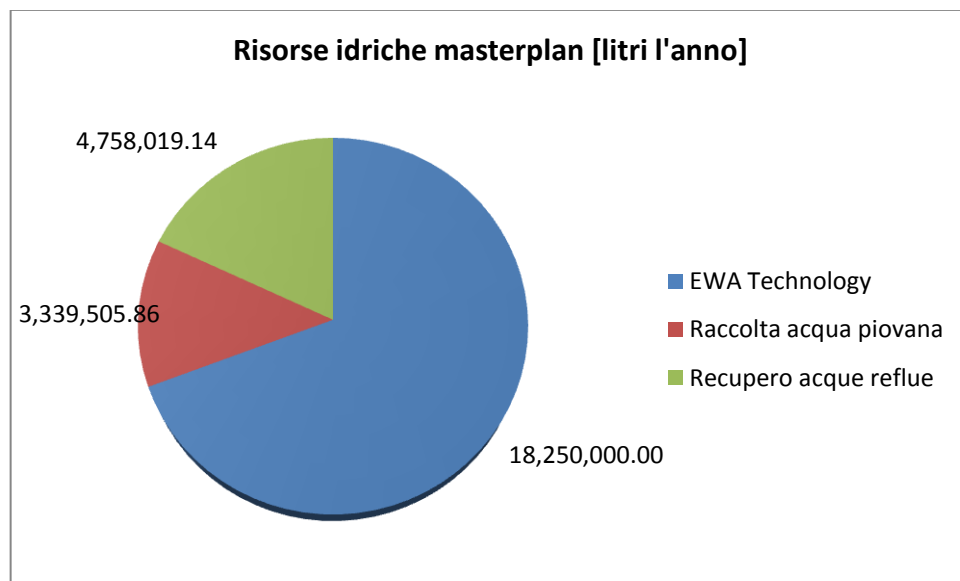


Figura 192 Fabbisogno idrico del campus

5.2.3 L'ENERGIA EOLICA

Nel primo capitolo è stato analizzato il vento presente nell'area, che risulta essere principalmente la brezza da Nord Ovest, costante durante l'anno. Nel grafico sottostante è stato riassunto il comportamento eolico, evidenziando la velocità media pari a 2.5- 3.00 [m/s].

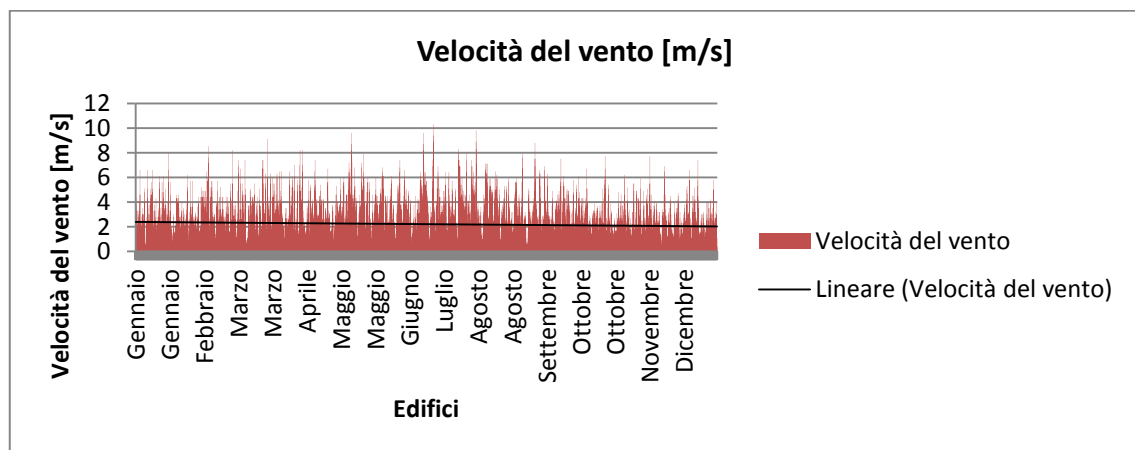


Figura 193 Velocità media del vento annuale [m/s]

5.2.4 L'ENERGIA SOLARE

La radiazione solare nell'area è elevata, con un radiazione solare annuale pari a 2015 [kWh/m²], come visibile dalla figura 192. Per questo motivo è sicuramente ipotizzabile l'utilizzo di pannelli fotovoltaici per la produzione di corrente elettrica. I pannelli fotovoltaici a progetto sono stati posizionati sui tetti esterni del campus, coprendo il 50 [%] delle coperture, per un'area totale pari a circa 10,000.00 [m²].

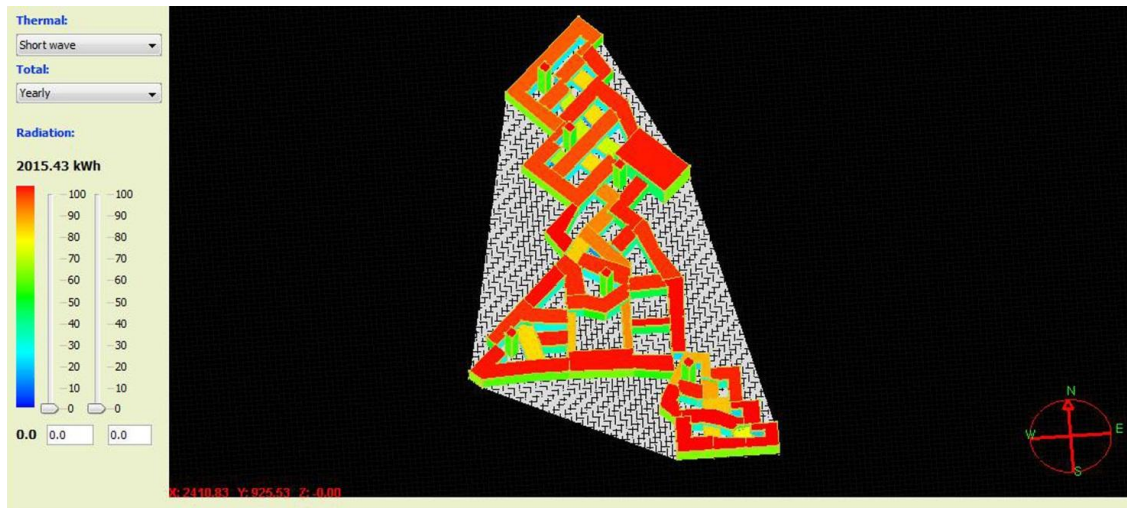


Figura 194 Radiazione solare annuale 2015 [kWh/m²]

5.2.5 LE TORRI DEL VENTO

Le torri del vento sono un metodo tradizionale per captare l'aria e raffreddare gli ambienti interni degli edifici. Nel quartiere ecosostenibile di Masdar, progettato da Norman Foster a Abu Dabi, le torri del vento sono utilizzate per raffreddare le corti degli edifici. Esse hanno un'altezza di circa 45 [m], e captano l'aria ai piani superiori, per portarla alla base e raffreddare le corti. Alcune torri sono dotate di umidificatori per umidificare e raffreddare ulteriormente l'aria.

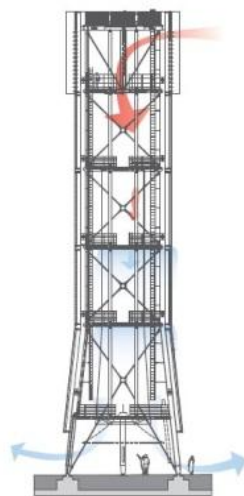


Figura 195 Torre del vento di Masdar. Sezione

5.2.6 LE TORRI SOLARI

Le torri solari sono una nuova tecnologia, studiata ed applicata per il campus universitario di Kaust in Arabia Saudita. Queste torri sfruttano il principio delle torri del vento tradizionali, ma lo incrementano grazie alla radiazione solare. Le torri sono infatti composte da una doppia pelle: quella più esterna è in vetro scuro, collegato allo strato interno da un corridoio per la manutenzione. La struttura interna è tamponata con elementi vetrati. L'aria viene riscaldata nello strato più esterno grazie all'effetto serra, mentre l'aria nel centro della torre si muove con flusso convettivo. La radiazione solare scaldando l'aria permette l'innescarsi del flusso convettivo anche se il vento è ridotto.

La dimensione delle torre nel campus di Kaust è pari a 16.00 * 8.00 [m] in pianta, e 70.00 [m] in altezza.

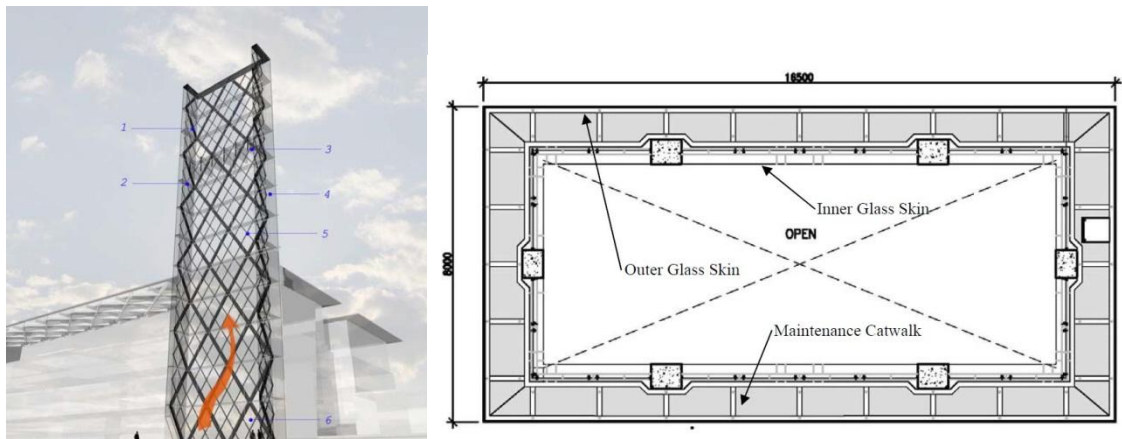
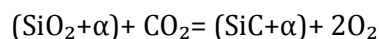


Figura 196 Torre solare a Kaust, Arabia Saudita

5.2.7 MATTONI DI SABBIA

La tecnica costruttiva tradizionale araba è legata all'uso della sabbia, precisamente alla realizzazione di mattoni in questo materiale. La sabbia veniva infatti impastata con paglia e sterco, creando dei mattoni che venivano lasciati essiccare al sole. Attualmente ci sono diverse tipologie di mattoni in sabbia, un tipo viene prodotto in Germania, ed unisce la sabbia ai rifiuti plastici, un altro è invece in fase di ricerca, ed è studiato da una ricercatrice di Dubai. Di seguito vengono illustrati i diversi mattoni.

I mattoni in sabbia realizzati dalla ditta TIS&Partners, una ditta giapponese, prevedono l'utilizzo di silice e CO₂ secondo la formula



Il composto così ottenuto viene addizionato con un liquido organico, come la resina epossidica per aumentare la resistenza del materiale, che può essere fino a 2.5 volte maggiore del cemento.

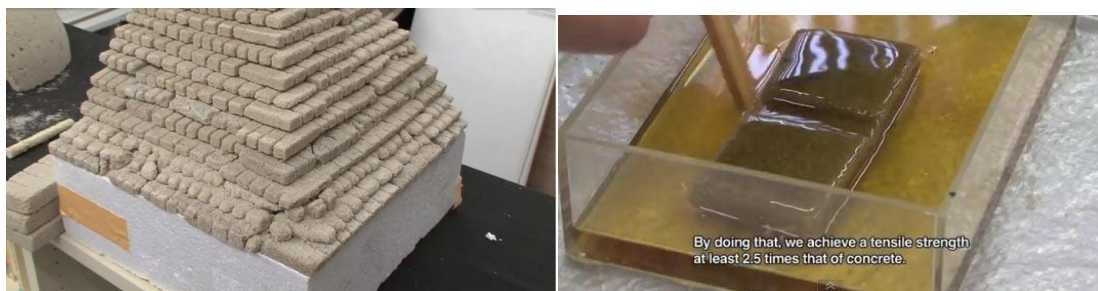


Figura 197 Mattoni in sabbia prodotti dalla TIS&Partners [32]

Un'altra tipologia di mattoni, la SIOPLAST, è prodotta dalla ditta tedesca, e sono composti per il 70 [%] di sabbia, ed il 30 [%] in plastica riciclata. Questi mattoni sono fino a tre volte più resistenti del cemento, hanno un'elevata inerzia termica, ha una durata garantita di 50 anni, non assorbe l'acqua ed è riciclabile.

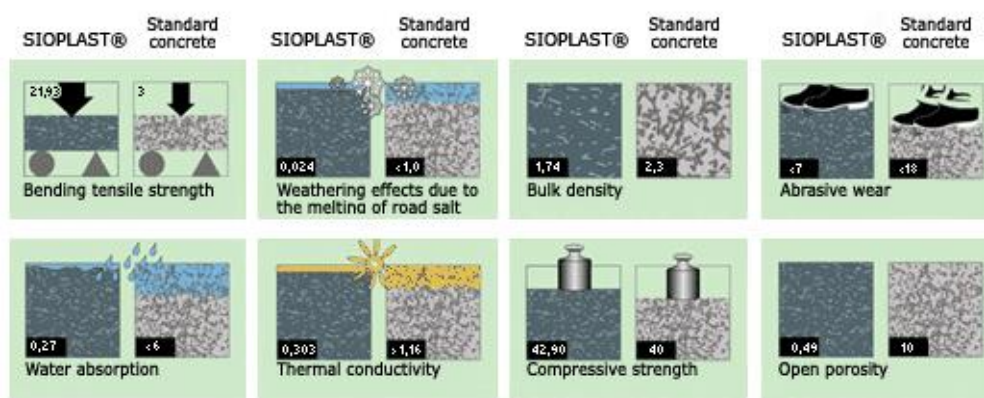
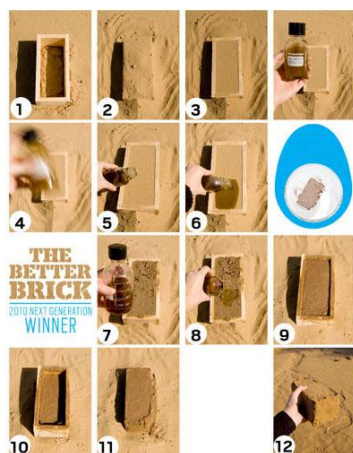
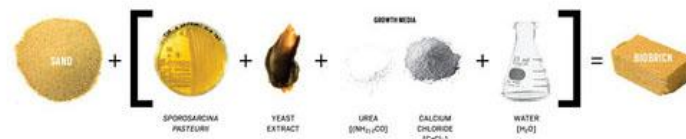


Figura 198 Mattoni in sabbia SIOPLAST

Infine l'ultima tipologia è in fase di sperimentazione e deriva dalle ricerche della dottoressa Ginger Krieg Dosier, assistente presso la facoltà di Architettura dell'Università americana di Sharjah, negli Emirati Arabi. Questi mattoni nascono dall'unione di sabbia, batteri, urea e cloruro di calcio.



BIOMANUFACTURED BRICK—A HOW-TO:
Here are 12 simple steps for reproducing Dosier's competition-winning idea. 1. Place the formwork in the sand. 2. Fill it up. 3. Level. 4. Shake the bacteria solution. 5. Pour it over the sand. 6. Let it saturate. 7. Pour the cementing solution over the sand. 8. Let it saturate. 9. Watch the brick harden. 10. Remove the formwork. 11. Watch the brick harden some more. 12. Behold, an ecobrick! If these bricks were adopted worldwide, they would reduce CO₂ emissions by 800 million tons a year.
Fair Rights, second from top, Sudharshi Silva



HOW IT'S MADE

Dosier grows bricks from materials that are readily available in most regions. *Sporosarcina pasteurii*, a bacteria, is common in soil.

Figura 199 Mattoni in sabbia della dottoressa Krieg

6.0 SIMULAZIONE DEL MASTERPLAN CON CITYSIM

Le simulazioni effettuate grazie al software CitySim permettono di definire il fabbisogno energetico dell'intero campus, nonché la radiazione solare incidente sulle superfici esterne. La simulazione totale è stata raggiunta per mezzo di diversi passaggi, dalla simulazione dell'intero Masterplan senza uscite di emergenza né atrium, fino al dettaglio di tutti gli edifici, valutando anche l'incidenza delle persone sul fabbisogno energetico totale.

6.1 PRIMA SIMULAZIONE CON CITYSIM. MASTERPLAN SENZA ATRIUM ED USCITE DI EMERGENZA



Figura 200 Pianta del Masterplan utilizzata per la prima simulazione con CitySim

La prima simulazione riguarda l'intero masterplan, senza considerare l'incidenza degli atrium e delle uscite di emergenze. Gli edifici sono quindi considerati come singoli poligoni tridimensionali. La semplificazione iniziale della simulazione è legata all'esattezza dei dati: simulare subito l'intero masterplan senza seguire le diverse scale di progetto rischiava di rendere le simulazioni arbitrarie. In questo modo è invece possibile identificare ogni passaggio, e l'incidenza di ogni tecnologia sul fabbisogno totale.

SUPERFICIE DEL TERRENO_ LA SABBIA DEL DESERTO

Albedo: 40 [%]

PROPRIETÀ DELL'EDIFICIO

Infiltrazioni d'aria [orarie]: 0.05

Il valore delle infiltrazioni è legato allo studio di Givoni ed alle analisi di Maria Papadopoulou: per Givoni le infiltrazioni orarie devono essere pari a 0.50 nelle ore notturne, e 0.00 nelle ore diurne. Poiché CitySim non permette questa differenziazione è stato previsto un'infiltrazione pari a 0.05, come definito dagli studi di Maria Papadopoulou. Questo valore è stato applicato in tutti gli edifici, tranne negli atrium, in cui è stato effettuato un ragionamento differente. Questi spazi infatti devono rimanere aperti, per creare delle correnti d'aria, grazie al vento da Nord- Ovest. Di conseguenza le infiltrazioni d'aria sono state calcolate secondo il metodo Ashrae, nel caso di una corrente d'aria. La formula utilizzata è la seguente:

$$Q = A * \sqrt{a\Delta T + bv_r^2}$$

Dove

Q: flusso d'aria [m³/h]

A: area totale delle aperture [cm²]

a: stack coefficient [m⁶/h²cm⁴K]

b: coefficiente del vento [m⁴s²/h²cm⁴]

ΔT: differenza di temperature interno- esterno [K]

vr: velocità media del vento [m/s]

Lo stack coefficient, a, è connesso con il numero di piani dell'edificio, ed è descritto nella tabella 55.

Tabella 55 Stack coefficient [33]

Stack coefficient [m ⁶ /h ² cm ⁴ K]	Numero di piani
0.00188	1
0.00376	2
0.00564	3

Il coefficiente del vento, b , è definito nella tabella 56. Esso è correlato alla presenza di ostacoli nell'area limitrofa, dalla classe I senza ostacoli, alla classe V nel contesto urbano.

Tabella 56 Coefficiente del vento

Classe	Altezza dell'edificio (piani)		
	Uno	Due	Tre
I	0.00413	0.00544	0.00640
II	0.00319	0.00421	0.00495
III	0.00226	0.00299	0.00351
IV	0.00135	0.00178	0.00209
V	0.00041	0.00054	0.00063

Nel caso dell'atrium l'infiltrazione è quindi pari a $3.50 \text{ [m}^3/\text{h}]$.

$T_{\min} [^{\circ}\text{C}]$: 5

$T_{\max} [^{\circ}\text{C}]$: 26

Profilo della temperatura in base agli occupanti: nessuno

Numero massimo di occupanti: 0

Profilo di occupazione: nessuno

REGOLAZIONE TERMICA DELL'EDIFICIO

Fonte di raffrescamento: pompa di calore

Inizio raffrescamento [giorno]: 1

Fine raffrescamento [giorno]: 365

POMPA DI CALORE

Potenza massima [W]: 372,100.00

COP: 4.00

η_{tech} : 0.25

$$\eta_{\text{carnot}} = \frac{(10+273.15)}{((10+273.15)-(28+273.15))}$$

$$\Delta T = 15 [^{\circ}\text{C}]$$

Sorgente: aria

PROPRIETÀ TERMICHE DEI MURI

Short wave reflectance: 0.20

Questo valore è correlato con la riflettanza dei muri e serramenti, essa è rapporto tra flusso riflesso e flusso incidente su di una determinata superficie. Nel caso in cui vi sia il 10 [%] di vetro, con una riflettanza pari a 0 [%], ed il 90 [%] di intonaco bianco, con riflettanza pari a 68 [%], la riflettanza totale della superficie sarà pari a

$$(0.10 \cdot 0.00) + (0.90 \cdot 0.68) = 0.61$$

Nel muro a progetto la riflettanza è pari a 0.20, poiché è importante ridurre l'albedo dei muri. Per questo motivo i muri verranno intonacati con una colorazione rosea, come la sabbia del deserto, definito come RAL 3015, con il 43.66 [%] di riflettanza.

Percentuale di superficie vetrata_ esposizione Est- Ovest, lato deserto [%]: 0.30

Percentuale di superficie vetrata_ esposizione Nord- Sud, corti interne [%]: 0.50

Valore G del vetro : 0.05

Trasmittanza termica serramento U [W/m²K]: 1.00

Pannelli fotovoltaici [%]: 0.00

MURI ESTERNI

Trasmittanza termica U= 0.20 [W/m²K]

Tabella 57 Edificio per uffici. Composizione dei muri esterni. Esterno- interno.

Nome	l [m]	p [Kg/m ³]	k[W/m°C]	Cp [J/Kg°C]
Intonaco	0.02	600	0.29	840
Isolante	0.15	30	0.04	840
Laterizio	0.12	600	0.25	840
Intonaco	0.01	600	0.29	840

Dove

l: spessore [m]

p: massa volumica [Kg/m³]

k: conducibilità termica [W/m°C]

Cp: calore specifico [J/Kg°C]

PROPRIETÀ TERMICHE DEI SOLAI ESTERNI

Short wave reflectance: 0.20

Percentuale di superficie vetrata [%]: 0.00

Pannelli fotovoltaici [%]: 0.50

Trasmittanza termica U [W/m²K]: 0.20

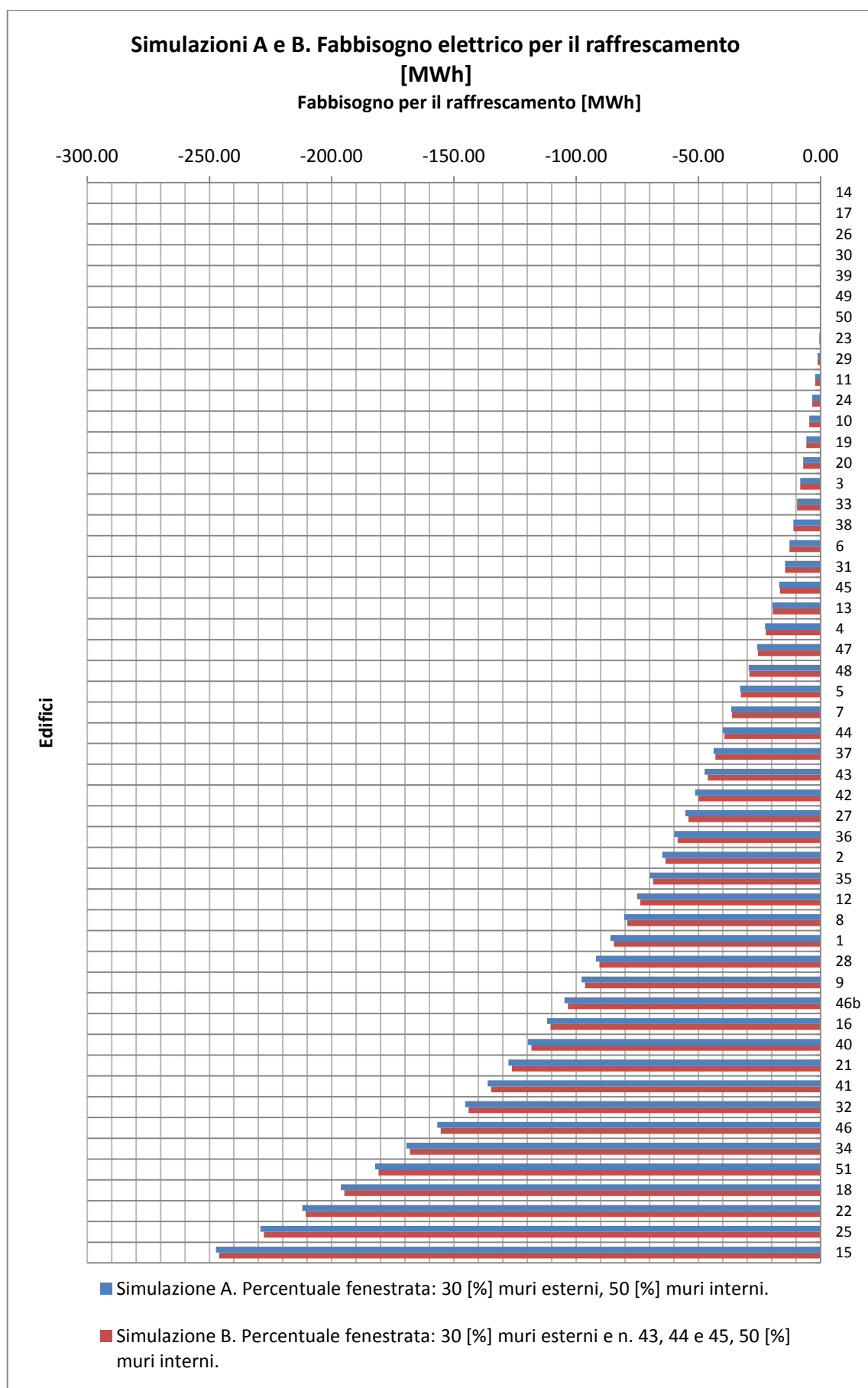
RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

I risultati della prima simulazione, chiamata “Simulazione A”, sono definiti nella tabella 58. Gli edifici con la massima consumazione energetica sono i numeri 43, 44 e 45, poiché sono situati nelle corti sportive, e quindi maggiormente esposti alla radiazione solare. Gli altri edifici hanno valori accettabili, poiché la loro consumazione energetica è compresa tra 20 [kWh/m²] e 36.90 [kWh/m²]. Come prima ottimizzazione del progetto, la “Simulazione B”, è stata ridotta la superficie vetrata negli edifici n. 43, 44 e 45, dal 50 [%] al 30 [%]. Come si può vedere nella tabella sottostante, il loro consumo energetico è stato ridotto del 11- 16 [%]. Il consumo energetico totale del masterplan, per il raffrescamento, è pari a 2,474 [MWh] per la prima simulazione, e 2,460 [MWh] per la seconda.

Tabella 58 Prima simulazione. Risultati del fabbisogno energetico per il raffrescamento [kWh/m²]

Edifici	Simulazione A	Simulazione B	Differenza [%]
	Fabbisogno per il raffrescamento [kWh/m ² y]	Fabbisogno per il raffrescamento [kWh/m ² y]	
1	-36.90	-36.54	0.98
2	-27.97	-27.97	0.00
3	-26.05	-26.05	0.00
4	-29.50	-29.50	0.02
5	-26.19	-26.19	0.00
6	-17.23	-17.23	0.00
7	-27.43	-27.42	0.01
8	-24.78	-24.78	0.00
9	-24.95	-24.95	0.01
10	-33.66	-33.66	0.00
11	-23.70	-23.70	0.01
12	-31.97	-31.97	0.00
13	-27.24	-27.24	0.00
14	Torre del vento	Torre del vento	
15	-26.71	-26.71	0.00
16	-28.12	-28.12	0.00
17	Torre del vento	Torre del vento	
18	-23.31	-23.31	0.00
19	-31.44	-31.44	0.00
20	-31.88	-31.88	0.00
21	-22.92	-22.92	0.00
22	-25.52	-25.52	0.00
23	-32.43	-32.43	0.00
24	-32.24	-32.24	0.00
25	-20.32	-20.32	0.01
26	Torre del vento	Torre del vento	
27	-30.82	-30.82	0.00
28	-30.73	-30.73	0.01
29	-32.80	-32.80	0.00
30	Torre del vento	Torre del vento	
31	-28.80	-28.80	0.00

Simulazione A		Simulazione B	
Edif	Fabbisogno per il raffrescamento [kWh/m ² y]	Fabbisogno per il raffrescamento [kWh/m ² y]	Differenza [%]
32	-25.87	-25.87	0.00
33	-30.80	-30.80	0.00
34	-25.26	-25.26	0.00
35	-27.51	-27.51	0.00
36	-23.03	-23.03	0.00
37	-27.31	-27.31	0.00
38	-21.43	-21.43	0.01
39	Torre del vento	Torre del vento	
40	-28.42	-28.42	0.00
41	-28.58	-28.58	0.00
42	-28.22	-28.22	0.00
43	-48.12	-40.21	16.43
44	-48.00	-42.01	12.49
45	-39.31	-34.77	11.55
46	-26.49	-26.49	0.00
46b	-20.45	-20.45	0.00
47	-27.03	-27.02	0.00
48	-31.78	-31.78	0.00
50	Torre del vento	Torre del vento	
51	-24.16	-24.17	-0.02



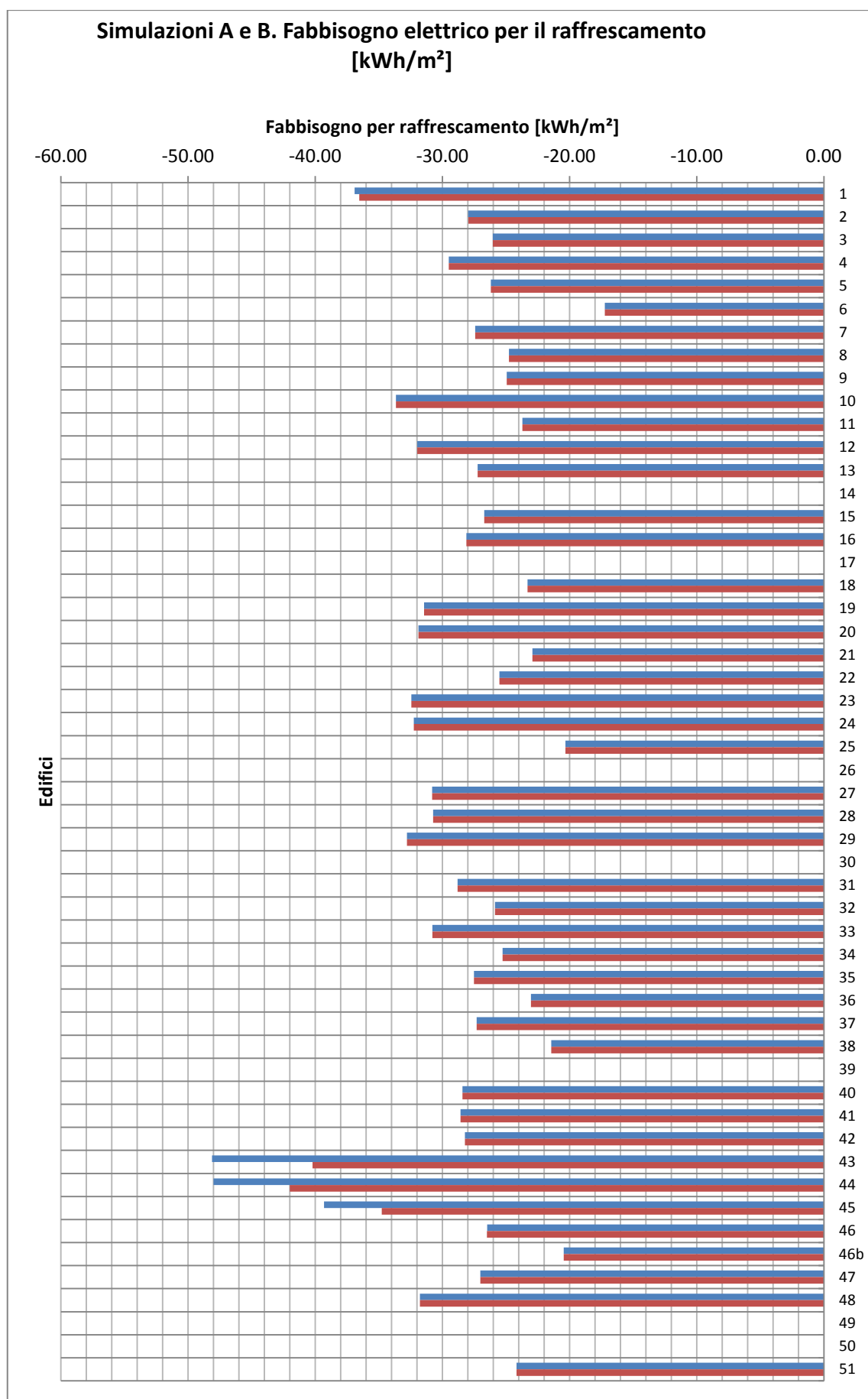


Figura 201 Prima simulazione. Fabbisogno energetico per il raffrescamento [kWh/m²]. Simulazione A (bu) e B (rosso)

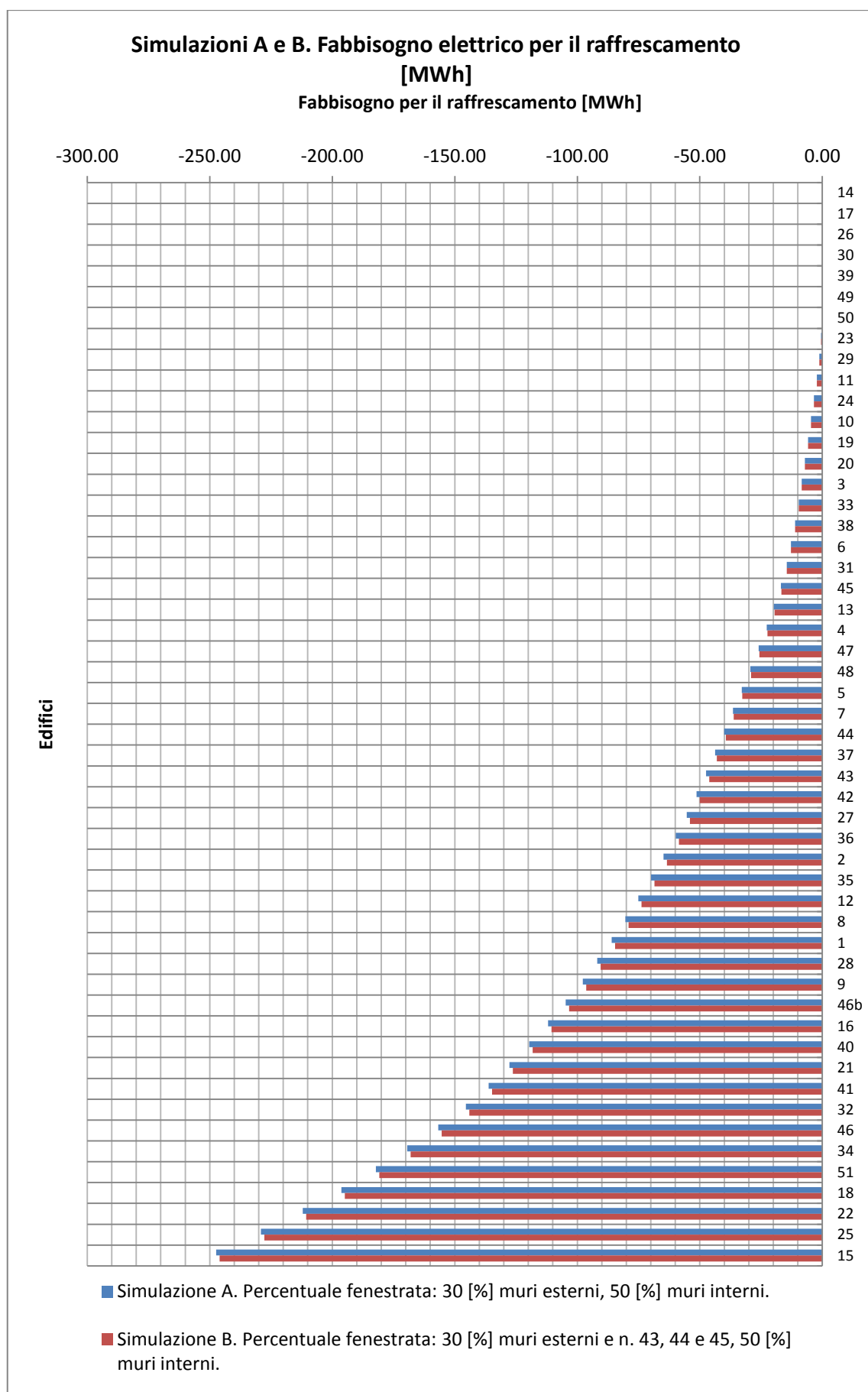


Figura 202 Prima simulazione. Fabbisogno energetico per il raffrescamento [MWh].

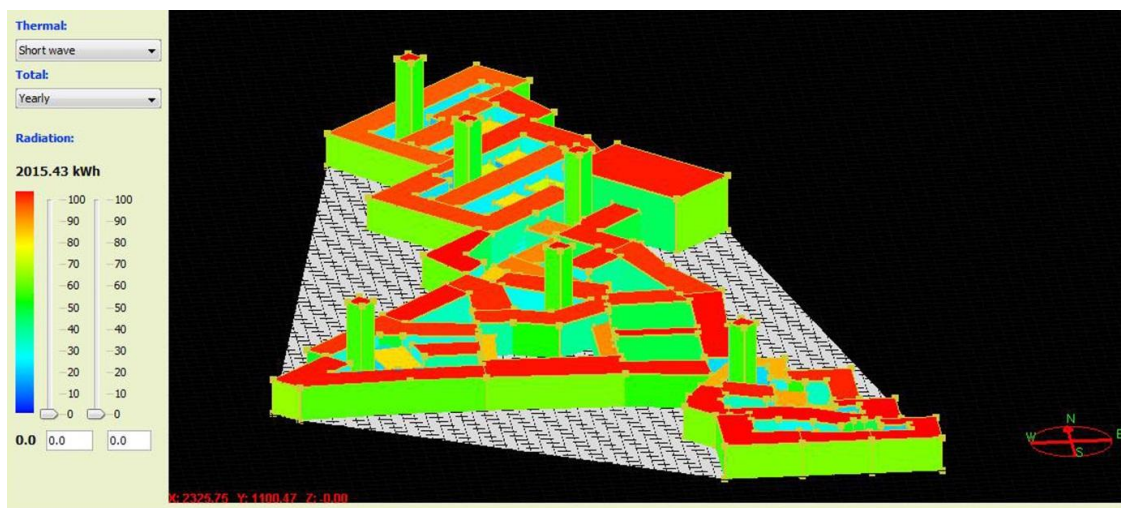


Figura 203 Masterplan. Radiazione solare annuale. Vista da Sud. Valore Massimo 2015 [kWh/m²]

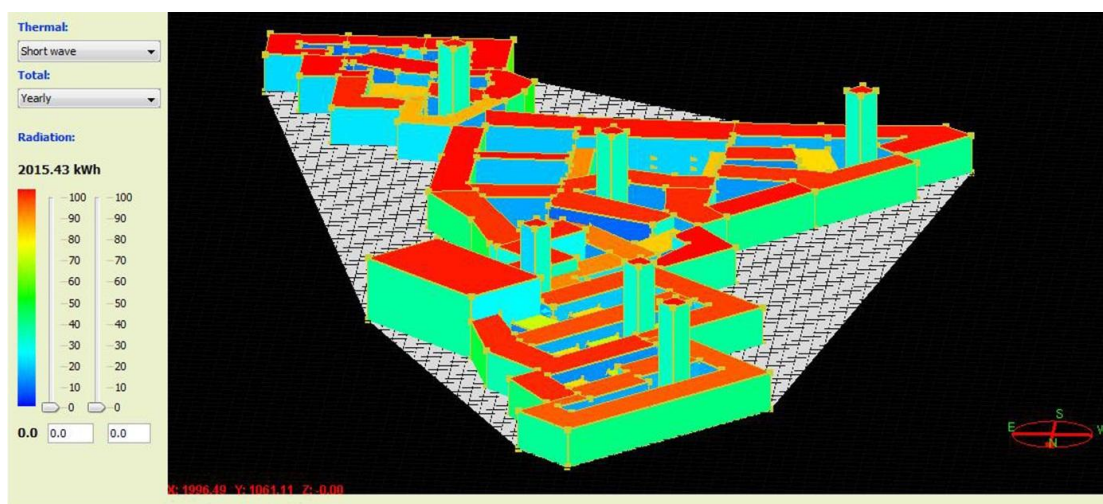


Figura 204 Masterplan. Radiazione solare annuale. Vista da Nord. Valore Massimo 2015 [kWh/m²]

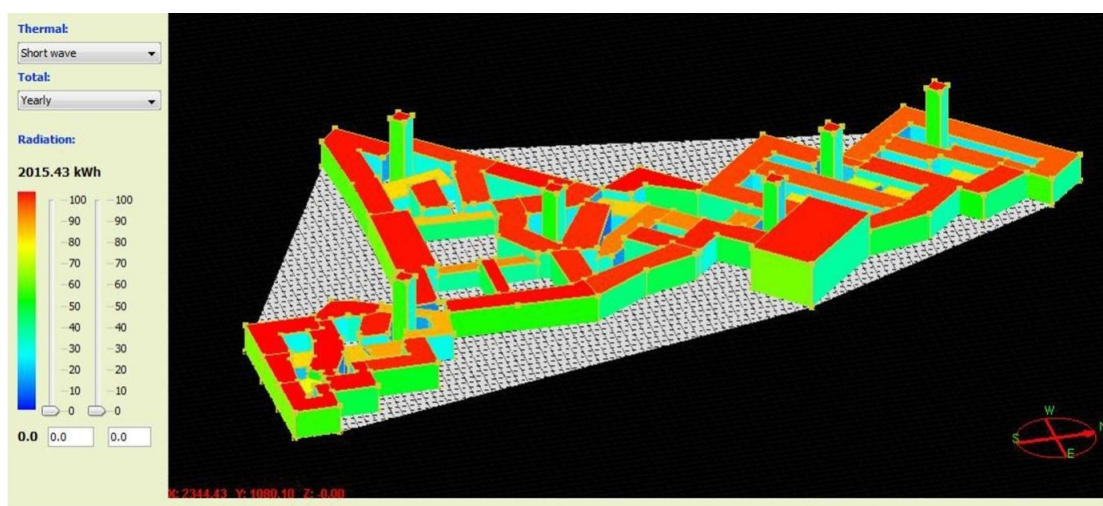


Figura 205 Masterplan. Radiazione solare annuale. Vista da Est. Valore Massimo 2015 [kWh/m²]

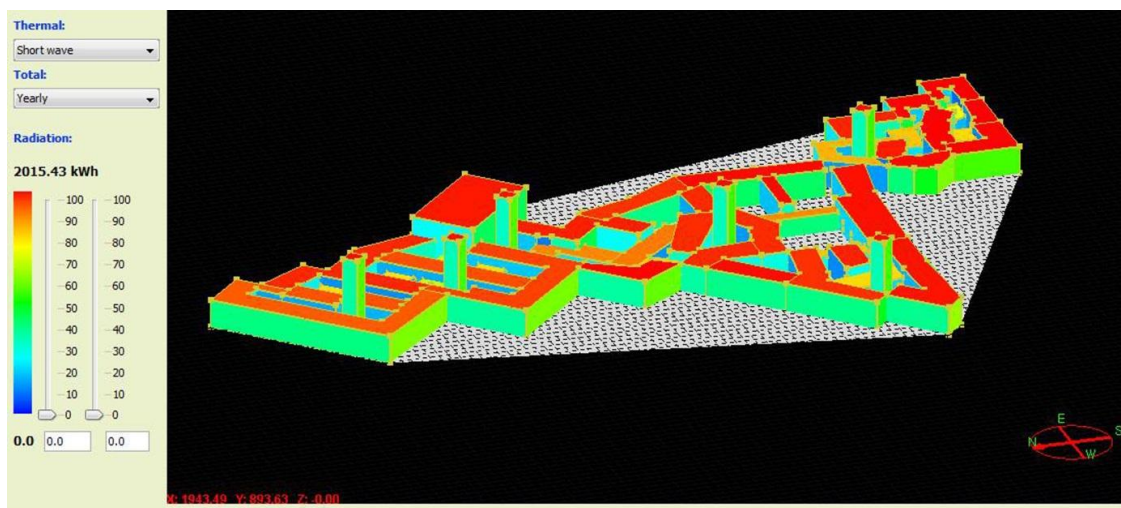


Figura 206 Masterplan. Radiazione solare annuale. Vista da Ovest. Valore Massimo 2015 [kWh/m²]

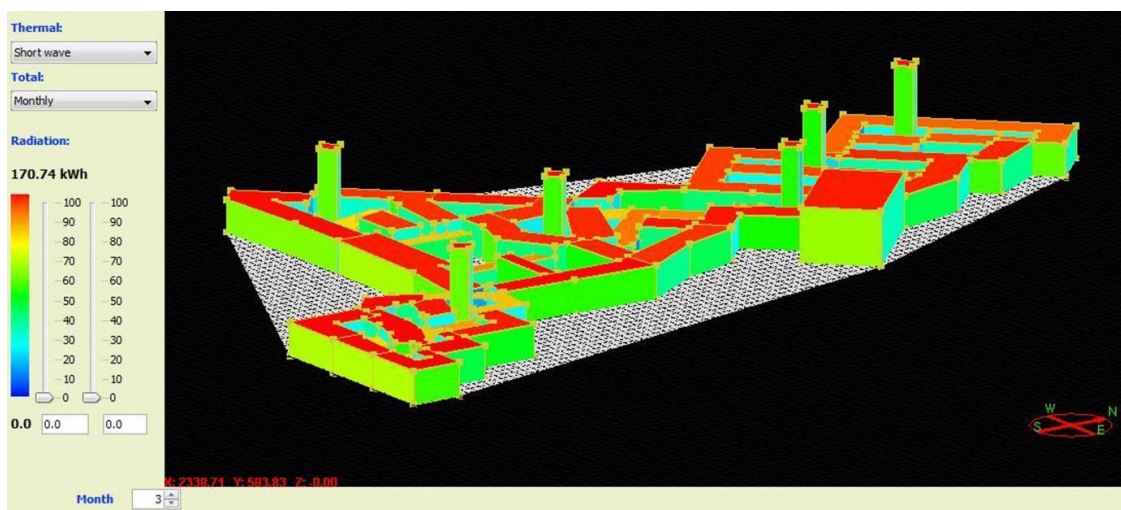


Figura 207 Masterplan. Radiazione solare mensile: marzo. Valore Massimo 170 [kWh/m²]

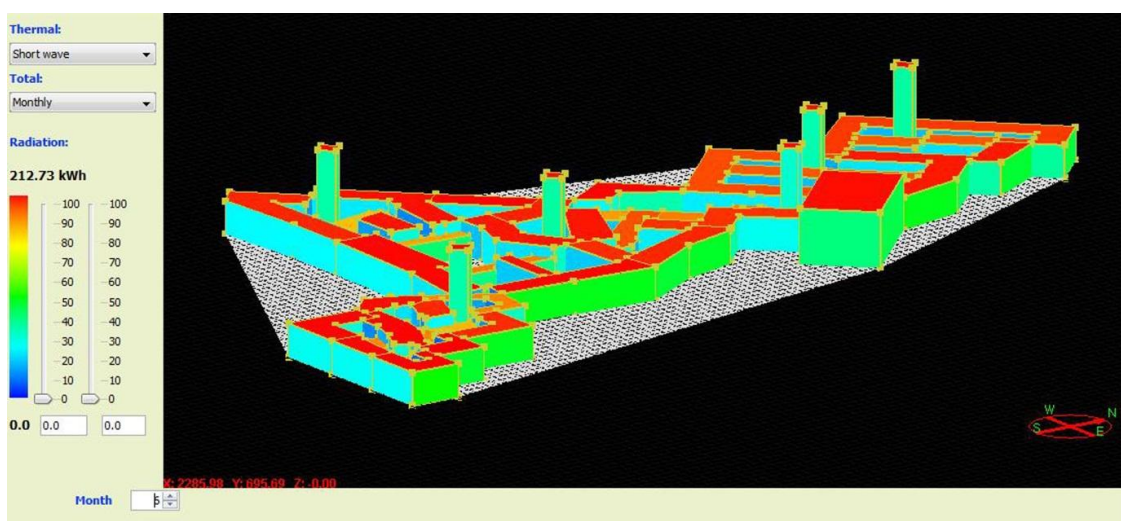


Figura 208 Masterplan. Radiazione solare mensile: giugno. Valore Massimo 213 [kWh/m²]

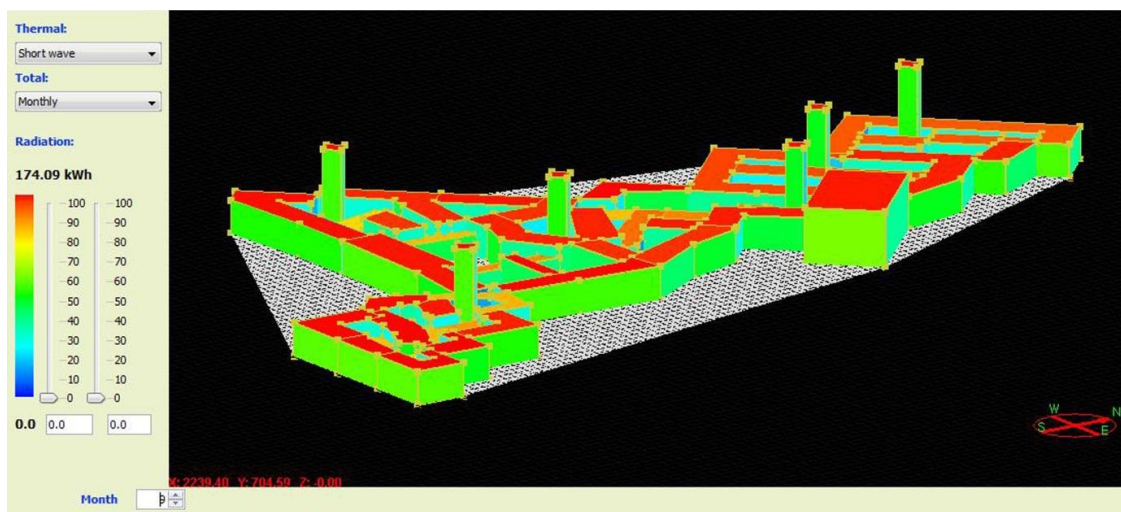


Figura 209 Masterplan. Radiazione solare mensile: settembre. Valore Massimo 174 [kWh/m²]

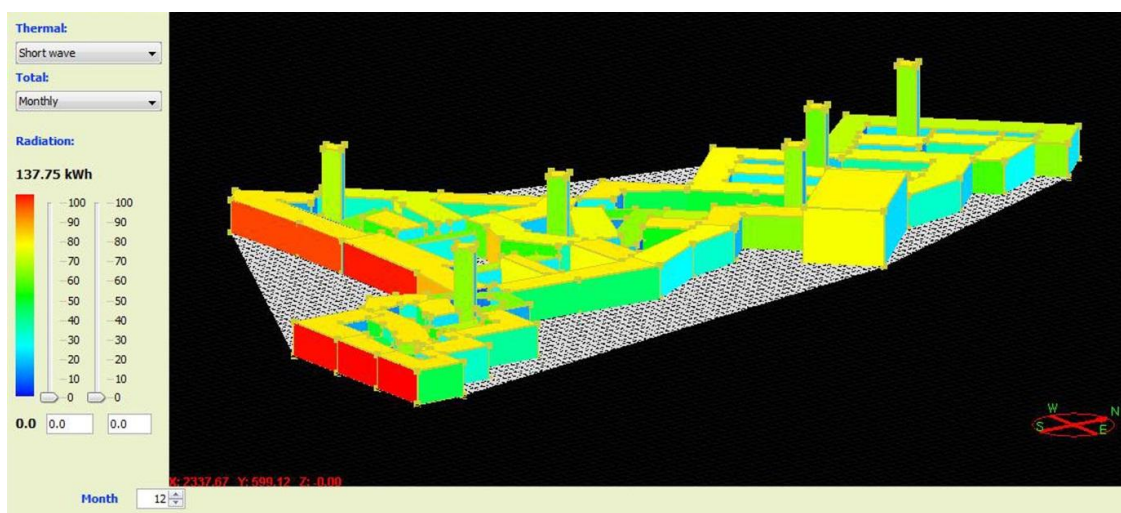


Figura 210 Masterplan. Radiazione solare mensile: dicembre. Valore Massimo 138 [kWh/m²]

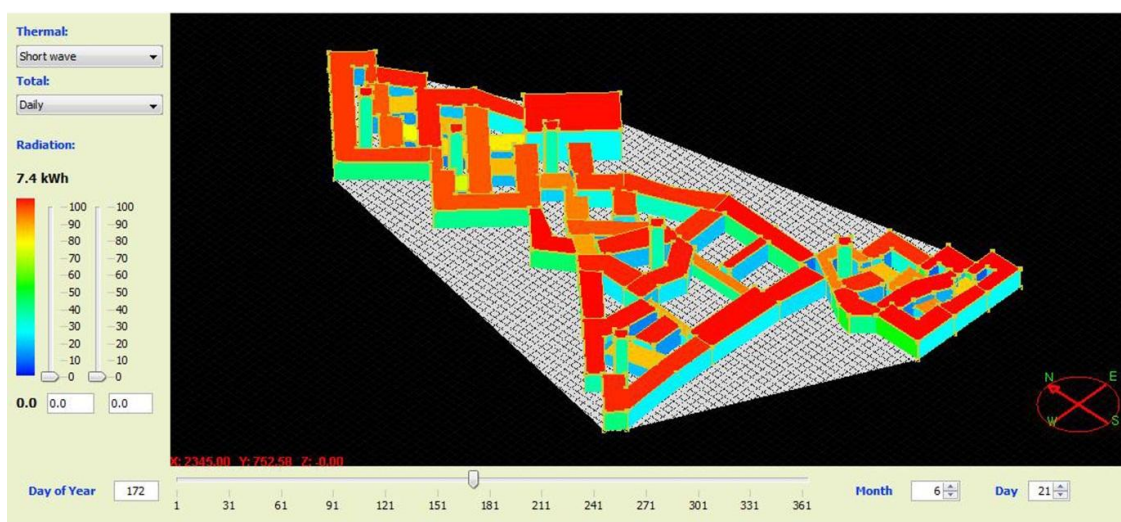


Figura 211 Masterplan. Radiazione solare giornaliera: 21 giugno. Valore Massimo 7.4 [kWh/m²]

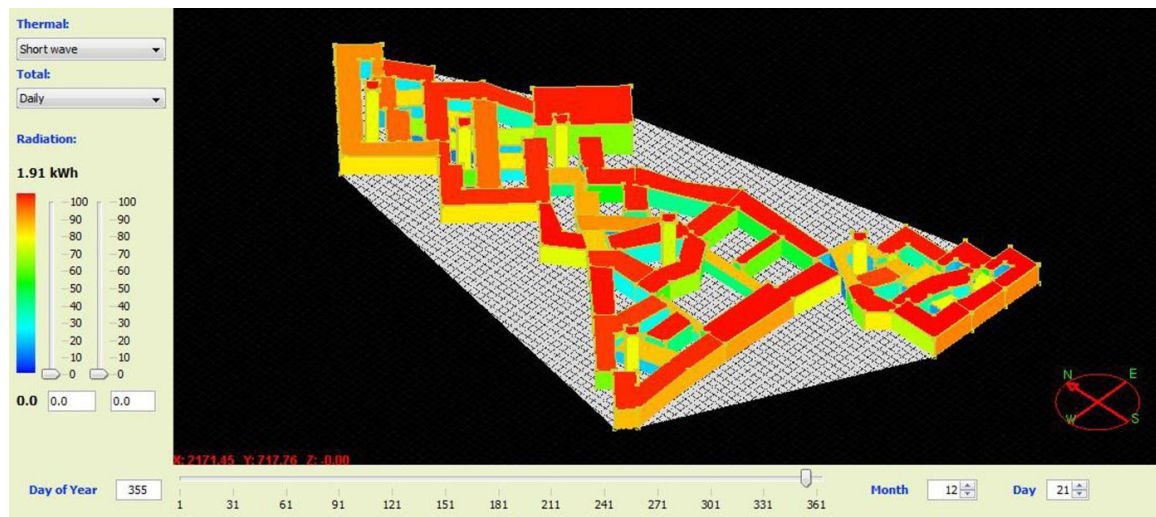


Figura 212 Masterplan. Radiazione solare giornaliera: 21 dicembre. Valore Massimo 1.9 [kWh/m²]

6.1.1 SECONDA ANALISI_ IMPATTO DELLE USCITE DI EMERGENZA

Un elemento che caratterizza il campus è la presenza di strade che tagliano gli edifici, e permettono ai mezzi di soccorso di raggiungere ogni corte. In questa simulazione è stato analizzato l'edificio n.2, analizzandolo come edificio isolato. Dalla simulazione è emerso l'impatto positivo nel consumo energetico delle taglio per il passaggio delle strade, probabilmente per l'aumento di superficie vetrata, soggetta ad una ridotta radiazione solare, e quindi un aumento della ventilazione naturale. Il consumo energetico per raffrescamento senza la strada è pari a 32.40 [kWh/m²], mentre con il passaggio è pari a 31.08 [kWh/m²], con una differenza percentuale del 4 [%]. Grazie a questa simulazione è stato definito l'impatto positivo dei passaggi.

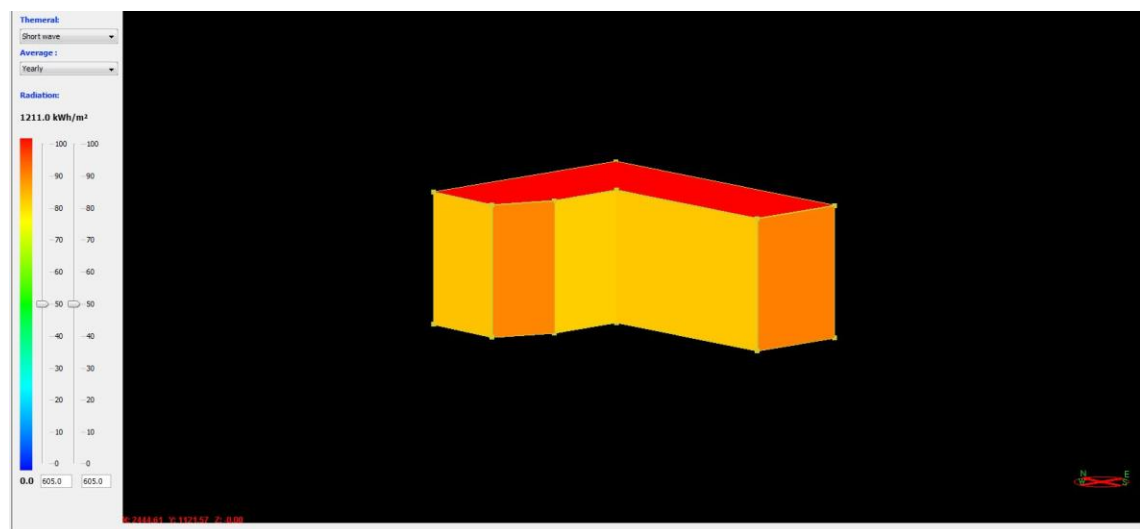


Figura 213 Edificio n.2 senza il passaggio interno. Radiazione solare annuale

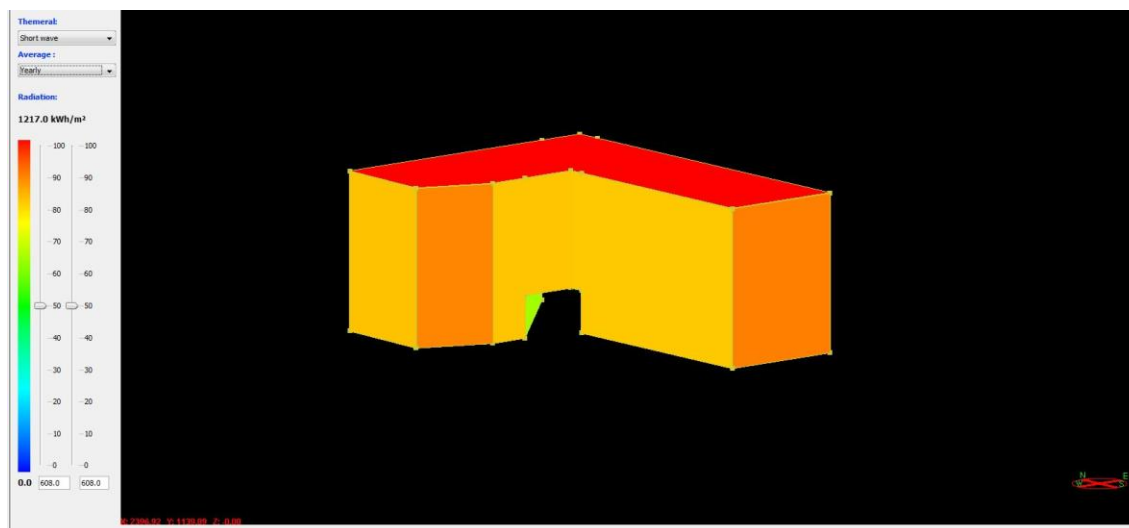


Figura 214 Edificio n.2 con il passaggio interno. Radiazione solare annuale

6.1.2 TERZA ANALISI. L'IMPATTO DEL CONTESTO URBANO SUL SINGOLO EDIFICIO

L'obiettivo di questa simulazione è definire l'impatto percentuale di un singolo edificio isolato o nel contesto urbano. I risultati definiscono l'importanza del contesto urbano, infatti il consumo energetico per raffrescamento è ridotto a 26.71 [kWh/m²], rispetto a 28.17 [kWh/m²] per l'edificio isolato, con una differenza percentuale pari al 5 [%].

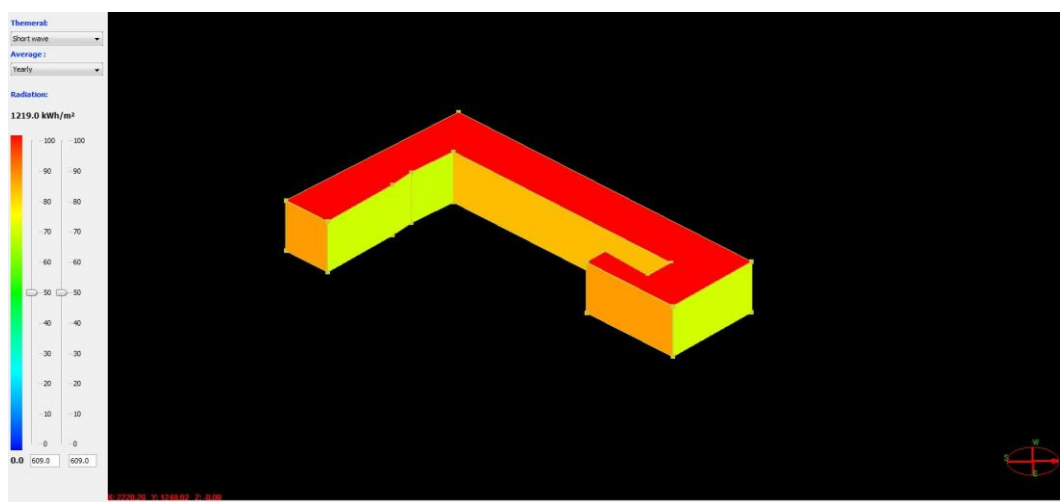


Figura 215 Edificio n.15. Radiazione solare annuale

La differenza nei fabbisogni energetici è espressa nella tabella 59.

Tabella 59 Edificio n.15. Fabbisogno energetico per il raffrescamento [kWh/m²]

Edificio n.15	Fabbisogno per il raffrescamento [kWh/m²y]
Edificio non isolato	-26.71
Edificio isolato	-28.17

6.2 SIMULAZIONE CON CITYSIM_ MASTERPLAN SENZA GLI OCCUPANTI

In questa simulazione gli edifici sono stati considerati attraversati dalle strade e dagli atrium. L'obiettivo di questa analisi è il miglioramento del consumo energetico variando la superficie vetrata dei diversi edifici. L'impatto degli atrium e delle strade è positivo nel fabbisogno totale del campus.



Figura 216 Modello CitySim. In azzurro gli atrium, in arancione i passaggi

Di seguito vengono elencate le caratteristiche delle simulazioni.

Simulazione C. Superficie vetrata: 30 [%] in ogni muro

Simulazione D. Superficie vetrata: 30 [%] nei muri esterni, 50 [%] nei muri interni

Simulazione E. Superficie vetrata: 25 [%] nei muri esterni, 45 [%] nei muri interni

Simulazione F. Superficie vetrata: 20 [%] nei muri esterni, 40 [%] nei muri interni

Simulazione G. Superficie vetrata: 20 [%] nei muri esterni, 40 [%] nei muri interni, 30 [%] negli edifici n. 19,20, 23, 24, 29, 31, 33, 43, 44 e 45.

Gli edifici con la massima consumazione energetica sono i numeri 19,20, 23, 24, 29, 31, 33, poiché sono edifici ad uno o due piani fuori terra, e tagliati dalle strade, questo implica che il volume interno è ridotto rispetto alla superficie esterna disperdente. Gli edifici n. 43, 44 e 45 sono invece situati nella corte dello sport, quindi maggiormente esposti alla radiazione solare. Valutando l'impatto di questi edifici è stato scelto, nella simulazione G, di ridurre la loro superficie vetrata al 30 [%] anche se situati all'interno del campus.

Nella tabella 60 sono riassunti i risultati delle simulazioni: risulta evidente l'impatto delle finestre, come mezzo per migliorare il consumo energetico degli edifici.

Tabella 60 Terza simulazione. Risultati del fabbisogno energetico per il raffrescamento [kWh/m²]

Edif	Simulazione C. Fabbisogno per raffrescamento [kWh/m ² a]	Simulazione D. Fabbisogno per raffrescamento [kWh/m ² a]	Simulazione E. Fabbisogno per raffrescamento [kWh/m ² a]	Simulazione F. Fabbisogno per raffrescamento [kWh/m ² a]	Simulazione G . Fabbisogno per raffrescamento [kWh/m ² a]
1	-35.62	-39.00	-37.25	-35.51	-35.52
2	-30.89	-33.58	-32.32	-31.07	-31.07
3	-28.78	-33.53	-32.33	-31.15	-31.15
4	-24.55	-28.91	-27.81	-26.73	-26.73
5	-25.73	-26.76	-26.01	-25.28	-25.28
6	-24.72	-29.47	-28.27	-27.09	-27.09
7	-26.98	-29.43	-28.34	-27.26	-27.26
8	-29.40	-35.26	-33.78	-32.32	-32.32
9	-24.12	-25.14	-24.41	-23.69	-23.69
10	-29.11	-33.23	-32.20	-31.15	-31.15
11	-21.45	-23.62	-23.06	-22.52	-22.52
12	-33.71	-36.90	-35.36	-33.82	-33.82
13	-25.21	-27.10	-26.11	-25.12	-25.12
14	Torre del vento	Torre del vento	Torre del vento	Torre del vento	Torre del vento
15	-25.27	-27.23	-26.26	-25.30	-25.30
16	-29.70	-35.42	-33.99	-32.57	-32.57
17	Torre del vento	Torre del vento	Torre del vento	Torre del vento	Torre del vento
18	-23.76	-25.96	-25.11	-24.28	-24.28
19	-33.45	-40.06	-38.41	-36.75	-33.50
20	-33.97	-40.66	-38.97	-37.31	-34.04
21	-21.46	-24.75	-23.92	-23.09	-23.09
22	-23.47	-25.86	-25.00	-24.15	-24.15

Edif	Simulazione C. Fabbisogno per raffrescamento [kWh/m ² y]	Simulazione D. Fabbisogno per raffrescamento [kWh/m ² y]	Simulazione E. Fabbisogno per raffrescamento [kWh/m ² y]	Simulazione F. Fabbisogno per raffrescamento [kWh/m ² y]	Simulazione G . Fabbisogno per raffrescamento [kWh/m ² y]
23	-43.73	-53.48	-51.01	-48.57	-43.77
24	-35.18	-41.52	-39.92	-38.32	-35.17
25	-16.59	-17.18	-16.75	-16.31	-16.31
26	Torre del vento	Torre del vento	Torre del vento	Torre del vento	Torre del vento
27	-29.99	-34.32	-33.22	-32.14	-32.14
28	-32.83	-33.78	-32.60	-31.43	-31.42
29	-41.22	-49.97	-47.73	-45.52	-41.15
30	Torre del vento	Torre del vento	Torre del vento	Torre del vento	Torre del vento
31	-29.25	-34.01	-32.80	-31.60	-29.26
32	-24.00	-26.12	-25.36	-24.60	-24.61
33	-36.09	-43.64	-41.76	-39.92	-36.27
34	-23.99	-27.77	-26.81	-25.87	-25.87
35	-23.20	-24.83	-24.09	-23.35	-23.35
36	-22.99	-26.06	-25.16	-24.27	-24.27
37	-27.69	-31.84	-30.79	-29.75	-29.76
38	-20.96	-23.12	-22.57	-22.03	-22.03
39	Torre del vento	Torre del vento	Torre del vento	Torre del vento	Torre del vento
40	-25.81	-27.37	-26.59	-25.82	-25.82
41	-33.16	-36.44	-35.25	-34.07	-34.07
42	-24.99	-28.61	-27.71	-26.81	-26.80
43	-43.00	-50.71	-48.74	-46.82	-42.99
44	-43.16	-48.60	-47.22	-45.86	-43.16
45	-40.42	-45.97	-44.58	-43.19	-40.44
46	-25.52	-28.37	-27.37	-26.39	-26.39
47	-26.13	-29.40	-28.57	-27.75	-27.74
48	-30.44	-36.40	-34.89	-33.39	-33.39
50	Torre del vento	Torre del vento	Torre del vento	Torre del vento	Torre del vento
51	-24.26	-26.46	-25.63	-24.79	-24.79
52	-29.10	-31.59	-30.47	-29.35	-29.35

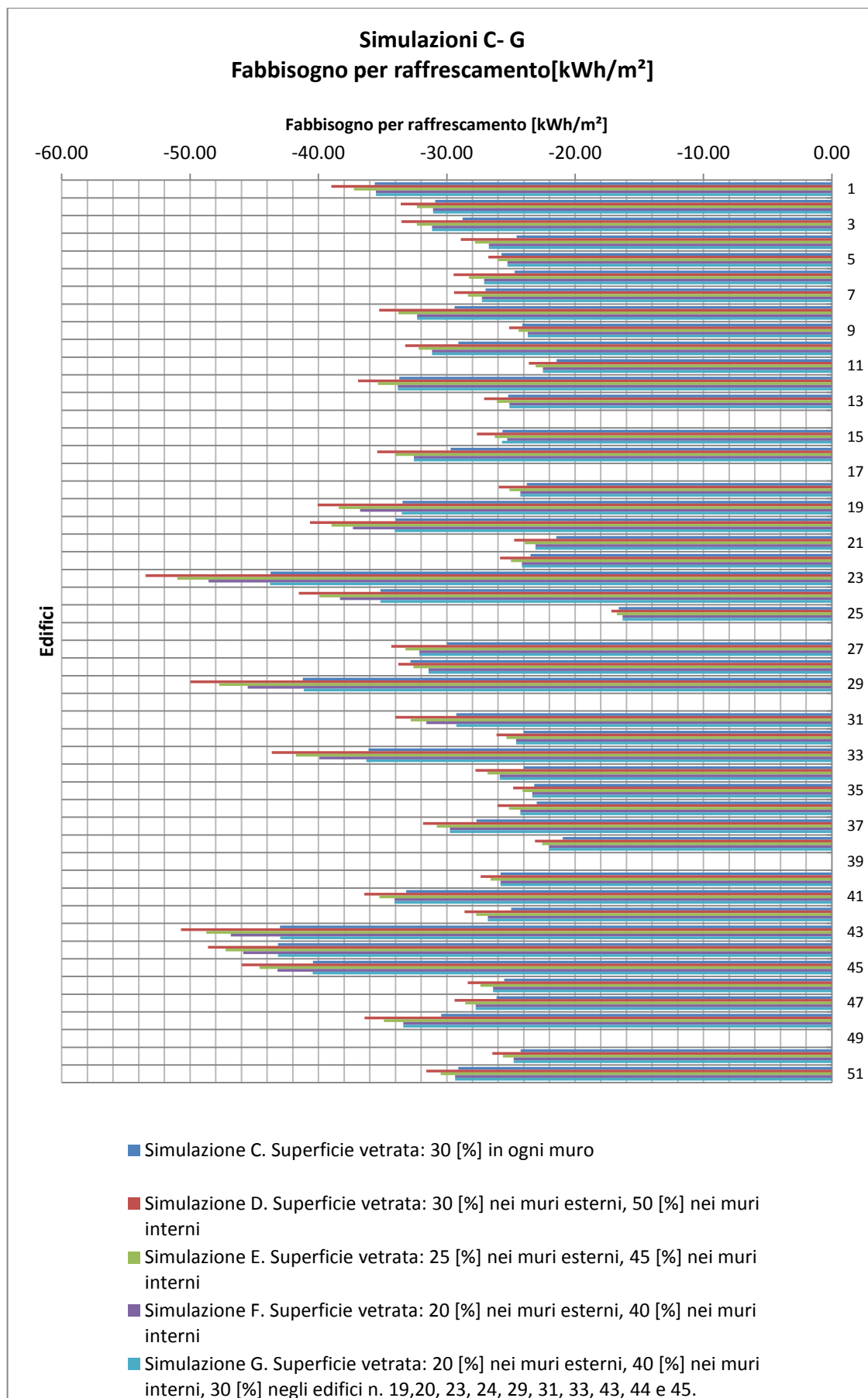


Figura 217 Terza simulazione. Fabbisogno energetico per il raffreddamento [kWh/m²].

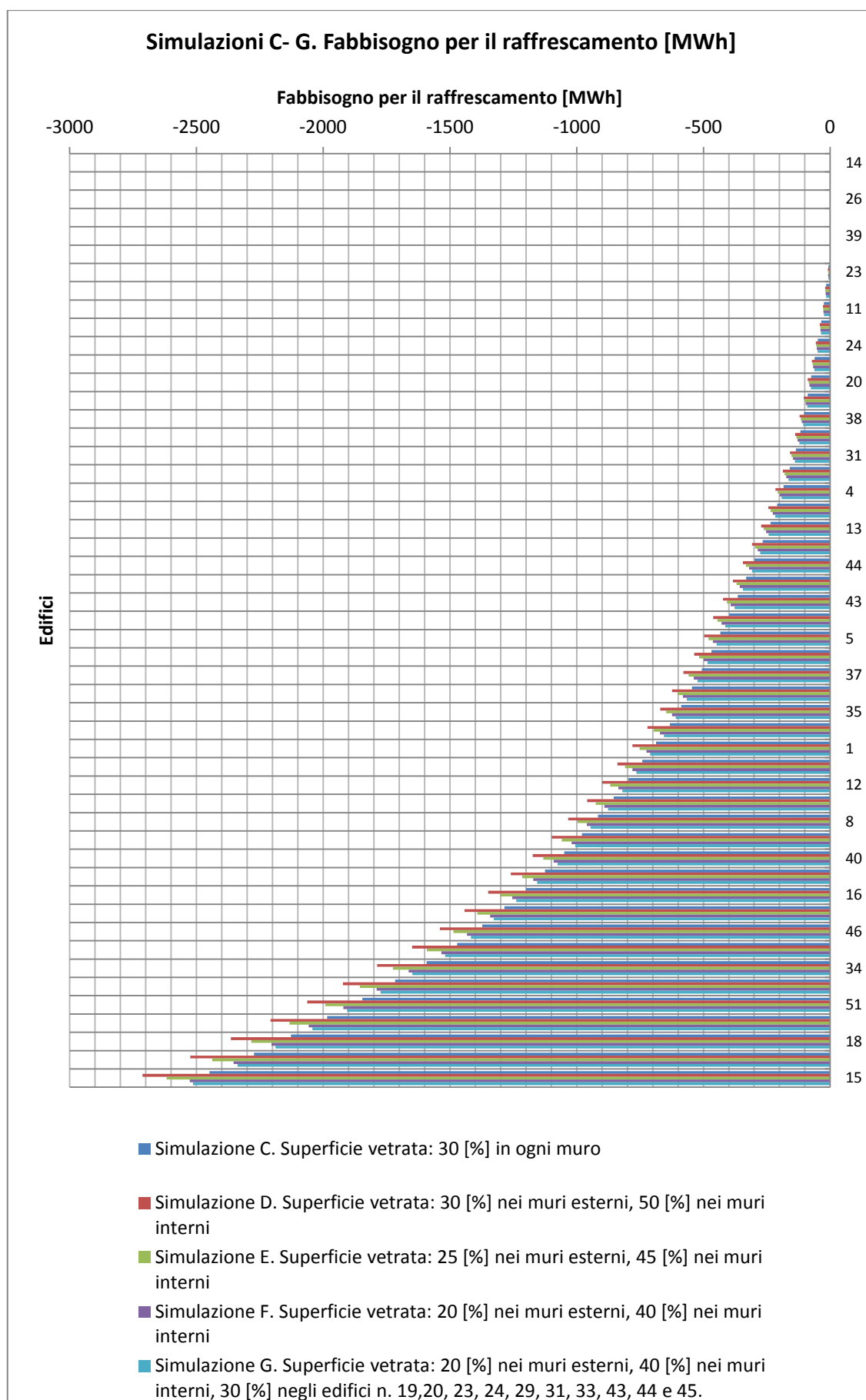


Figura 218 Terza simulazione. Fabbisogno energetico per il raffrescamento [MWh].

6.3 SIMULAZIONE CON CITYSIM_ MASTERPLAN CON GLI OCCUPANTI

L'impatto degli occupanti è forte nel fabbisogno energetico del campus. In numero di occupanti è legato alla funzione, ed alla superficie netta. Per questo motivo è stata definita la funzione di ogni edificio, ed il numero di occupanti è stato ricavato dalle tabelle della Ashrae. Dopo aver trovato il totale delle persone, è stata utilizzata la normativa svizzera SIA 2024 per definire un valore totale dato dalla sommatoria tra il numero delle persone e gli apparecchi in funzione.

6.3.1 ASHRAE_ NUMERO DI OCCUPANTI

Nel campus sono state definite le seguenti funzioni: auditorium, palestra, libreria, uffici, residenza, ristoranti ed università. In base alle funzioni sono stati identificati il numero di persone per ogni edificio, in base alla superficie netta, ed alle tabelle fornite dalla ASHRAE, come definito nelle tabelle sottostanti.

↓ Convention center

Parameter	Value
Occupancy Schedule	Assembly
People/100 sq. M.	25
People Sensible Heat Gain (W/person)	73
People Latent Heat Gain (W/person)	59
Lighting Load Density (W/sq. M.)	12.9
Equipment Load Density (W/sq. M.)	10.3
Infiltration Flow (ACH)	0.1
Outside Air (ventilation air) Flow Per Person (liters per second)	3.1
Outside Air (ventilation air) Flow Per Area (cubic meters per hour per square meter)	3.7
Unoccupied Cooling Set Point (C)	29.4

Figura 219 Ashrae. Scheda tecnica auditorium

↓ Multi family

Parameter	Value
Occupancy Schedule	Residential
People/100 sq. M.	2.5
People Sensible Heat Gain (W/person)	73
People Latent Heat Gain (W/person)	59
Lighting Load Density (W/sq. M.)	7.5
Equipment Load Density (W/sq. M.)	10.8
Infiltration Flow (ACH)	0.25
Outside Air (ventilation air) Flow Per Person (liters per second)	NULL
Outside Air (ventilation air) Flow Per Area (cubic meters per hour per square meter)	1.1
Unoccupied Cooling Set Point (C)	29.4

Figura 220 Ashrae. Scheda tecnica residenza

↓Library

Parameter	Value
Occupancy Schedule	Office
People/100 sq. M.	10
People Sensible Heat Gain (W/person)	73
People Latent Heat Gain (W/person)	59
Lighting Load Density (W/sq. M.)	14.0
Equipment Load Density (W/sq. M.)	10.8
Infiltration Flow (ACH)	0.1
Outside Air (ventilation air) Flow Per Person (liters per second)	8.5
Outside Air (ventilation air) Flow Per Area (cubic meters per hour per square meter)	3.7
Unoccupied Cooling Set Point (C)	29.4

Figura 221 Ashrae. Scheda tecnica libreria

↓Gymnasium

Parameter	Value
Occupancy Schedule	Retail
People/100 sq. M.	33.5
People Sensible Heat Gain (W/person)	73
People Latent Heat Gain (W/person)	59
Lighting Load Density (W/sq. M.)	10.8
Equipment Load Density (W/sq. M.)	10.8
Infiltration Flow (ACH)	0.1
Outside Air (ventilation air) Flow Per Person (liters per second)	13
Outside Air (ventilation air) Flow Per Area (cubic meters per hour per square meter)	3.7
Unoccupied Cooling Set Point (C)	29.4

Figura 222 Ashrae. Scheda tecnica palestra

↓Dining bar lounge or leisure

Parameter	Value
Occupancy Schedule	Restaurant
People/100 sq. M.	35
People Sensible Heat Gain (W/person)	81
People Latent Heat Gain (W/person)	81
Lighting Load Density (W/sq. M.)	14.0
Equipment Load Density (W/sq. M.)	8.5
Infiltration Flow (ACH)	0.25
Outside Air (ventilation air) Flow Per Person (liters per second)	4.7
Outside Air (ventilation air) Flow Per Area (cubic meters per hour per square meter)	3.7
Unoccupied Cooling Set Point (C)	29.4

Figura 223 Ashrae. Scheda tecnica ristorante

↓ Office

Parameter	Value
Occupancy Schedule	Office
People/100 sq. M.	3.5
People Sensible Heat Gain (W/person)	73
People Latent Heat Gain (W/person)	59
Lighting Load Density (W/sq. M.)	10.9
Equipment Load Density (W/sq. M.)	14.4
Infiltration Flow (ACH)	0.1
Outside Air (ventilation air) Flow Per Person (liters per second)	8.5
Outside Air (ventilation air) Flow Per Area (cubic meters per hour per square meter)	3.7
Unoccupied Cooling Set Point (C)	29.4

Figura 224 Ashrae. Scheda tecnica ufficio

↓ School or university

Parameter	Value
Occupancy Schedule	School
People/100 sq. M.	25
People Sensible Heat Gain (W/person)	73
People Latent Heat Gain (W/person)	59
Lighting Load Density (W/sq. M.)	12.9
Equipment Load Density (W/sq. M.)	10.8
Infiltration Flow (ACH)	0.25
Outside Air (ventilation air) Flow Per Person (liters per second)	7.8
Outside Air (ventilation air) Flow Per Area (cubic meters per hour per square meter)	3.7
Unoccupied Cooling Set Point (C)	29.4

Figura 225 Ashrae. Scheda tecnica università

6.3.2 SIA 2024_ PROFILO DI OCCUPAZIONE

Il profilo di occupazione per le diverse funzioni è stato definito a partire dalla normativa svizzera SIA 2024. In primis è stato studiato il profilo di occupazione delle persone, sapendo che CitySim considera ogni persona come una fonte di 90 [W]. Successivamente è stato studiato l'apporto energetico dei macchinari per ogni funzione. Sono stati quindi sommati i due valori, e normalizzato il risultato. Per ogni edificio è stato quindi redatto un profilo di occupazione giornaliero, espresso in ore, compreso tra un valore 0 ed 1. Zero implica l'assenza di occupanti, 1 il valore massimo, che varia per ogni edificio in base alla superficie netta dello stesso.

Per ogni funzione sono stati analizzati i macchinari presenti come leggibile nella tabella 61.

Tabella 61 Potenza dei macchinari per ogni funzione [W/m²]

Funzione	Potenza macchinari [W/m ²]
Auditorium	4
Palestra	2
Libreria	2
Ufficio	7
Residenza	2
Ristorante	2
Università	4

Per ogni edificio è stata studiata la curva normalizzata rappresentante l'occupazione di persone e macchinari, per i giorni festivi e feriali. La spiegazione del percorso è definita per l'auditorium come segue.

Tabella 62 Auditorium. Profilo di occupazione delle persone nei giorni feriali

Auditorium_Giorni feriali	Ore	Occupazione	(ON) Occupazione * Numero di persone	90 [W]* ON
	1	0	0	0
	2	0	0	0
	3	0	0	0
	4	0	0	0
	5	0	0	0
	6	0	0	0
	7	0	0	0
	8	0.2	4.8	432
	9	0.6	14.4	1296
	10	1	24	2160
	11	1	24	2160
	12	0.2	4.8	432
	13	0.2	4.8	432
	14	1	24	2160
	15	1	24	2160
	16	0.6	14.4	1296
	17	0.2	4.8	432
	18	0	0	0
	19	0	0	0
	20	0	0	0
	21	0	0	0
	22	0	0	0
	23	0	0	0
	24	0	0	0

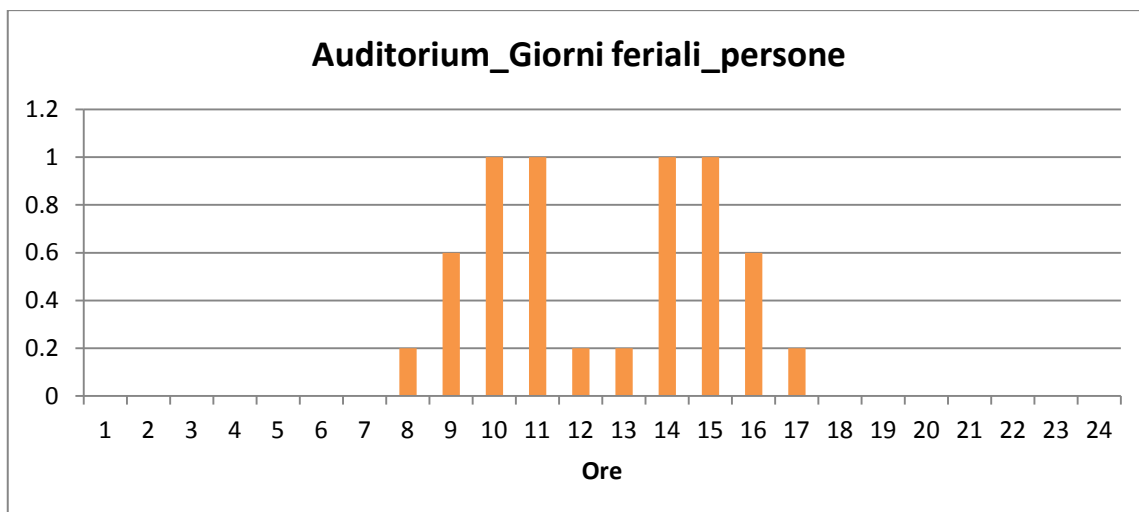


Figura 226 Auditorium. Profilo di occupazione delle persone nei giorni feriali

Tabella 63 Auditorium. Profilo di occupazione dei macchinari nei giorni feriali

Auditorium_Giorni feriali	Ore	Distribuzione	(ED) Potenza elettrica * Distribuzione	Superficie [m ²]* ED
	1	0	0	0
	2	0	0	0
	3	0	0	0
	4	0	0	0
	5	0	0	0
	6	0	0	0
	7	0	0	0
	8	0.2	0.8	75.784
	9	0.6	2.4	227.352
	10	1	4	378.92
	11	1	4	378.92
	12	0.2	0.8	75.784
	13	0.2	0.8	75.784
	14	1	4	378.92
	15	1	4	378.92
	16	0.6	2.4	227.352
	17	0.2	0.8	75.784
	18	0	0	0
	19	0	0	0
	20	0	0	0
	21	0	0	0
	22	0	0	0
	23	0	0	0
	24	0	0	0

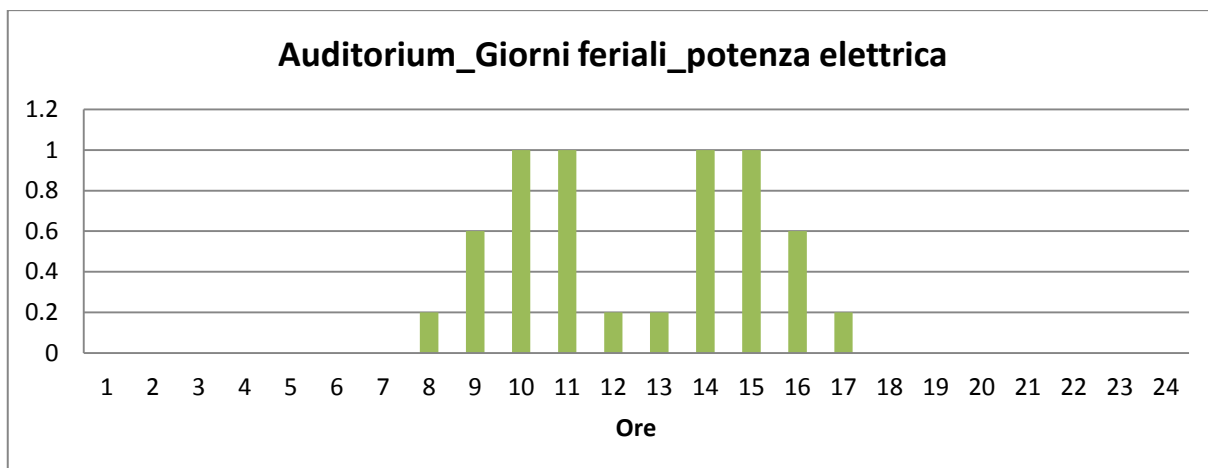


Figura 227 Auditorium. Profilo di occupazione dei macchinari nei giorni feriali

Tabella 64 Auditorium. Profilo di occupazione degli occupanti e macchinari nei giorni feriali

Auditorium_Giorni feriali	Persone [W]	Potenza elettrica [W]	(PE) Persone + Potenza elettrica [W]	PE /90[W]= Numero delle persone	Numero delle persone/n. persone max
0	0	0	0	0	0.00
0	0	0	0	0	0.00
0	0	0	0	0	0.00
0	0	0	0	0	0.00
0	0	0	0	0	0.00
0	0	0	0	0	0.00
0	0	0	0	0	0.00
432	75.784	507.784	6	0.20	
1296	227.352	1523.352	17	0.60	
2160	378.92	2538.92	28	1.00	
2160	378.92	2538.92	28	1.00	
432	75.784	507.784	6	0.20	
432	75.784	507.784	6	0.20	
2160	378.92	2538.92	28	1.00	
2160	378.92	2538.92	28	1.00	
1296	227.352	1523.352	17	0.60	
432	75.784	507.784	6	0.20	
0	0	0	0	0	0.00
0	0	0	0	0	0.00
0	0	0	0	0	0.00
0	0	0	0	0	0.00
0	0	0	0	0	0.00
0	0	0	0	0	0.00
0	0	0	0	0	0.00

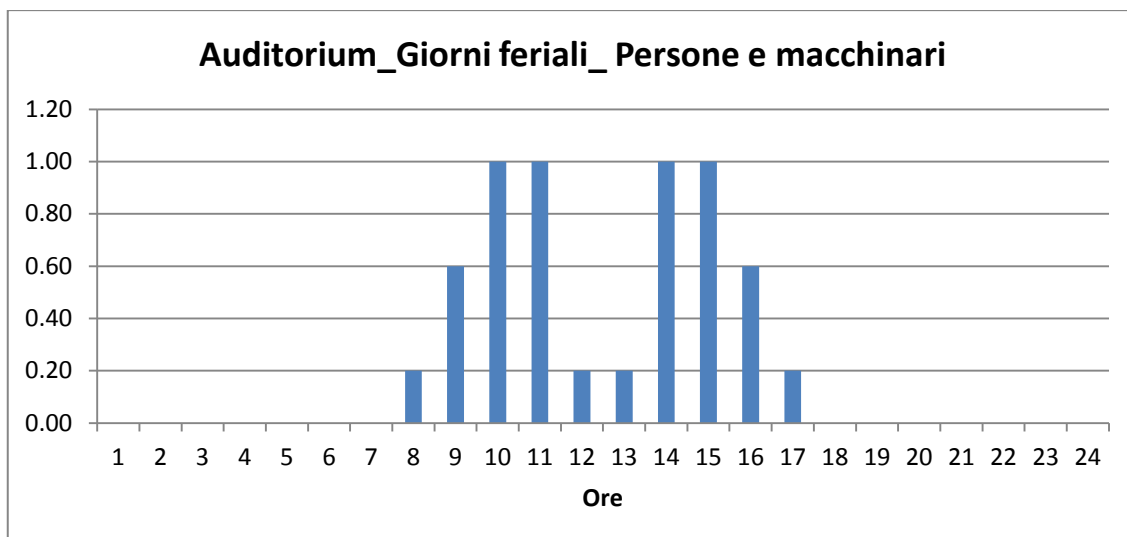


Figura 228 Auditorium. Profilo di occupazione normalizzato degli occupanti e macchinari nei giorni feriali

Nell'esempio dell'auditorium è stata supposta la presenza di 24 persone in un'area di 94.73 [m²], poiché $94.73 \cdot 0.25 = 23.68$. Sommando il numero di persone con gli apparecchi è stato trovato il nuovo numero di persone, pari a 28.

Per ogni edificio è stata svolta questa analisi, ed i dati ottenuti sono definiti nei grafici sottostanti.

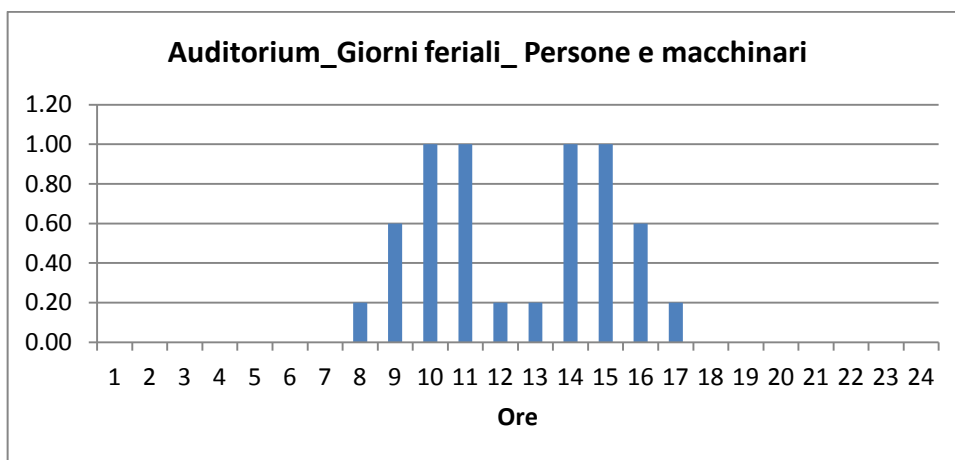


Figura 229 Auditorium. Profilo di occupazione normalizzato degli occupanti e macchinari nei giorni feriali

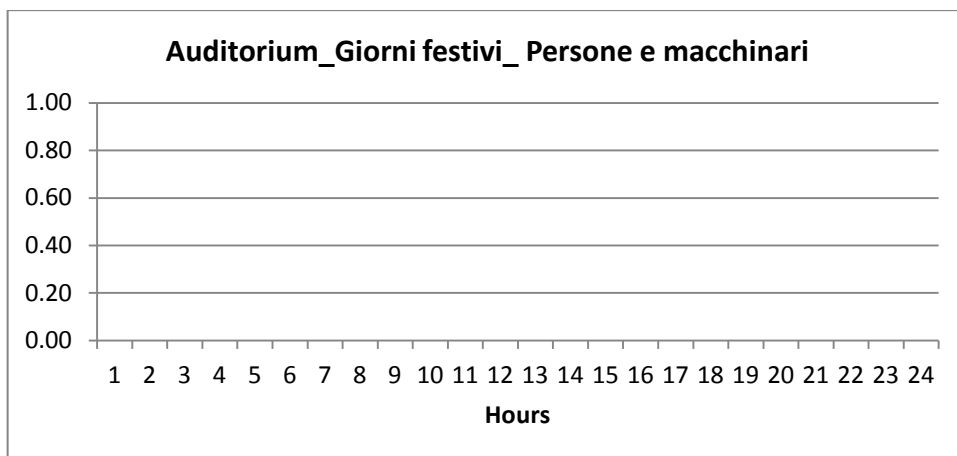


Figura 230 Auditorium. Profilo di occupazione normalizzato degli occupanti e macchinari nei giorni festivi

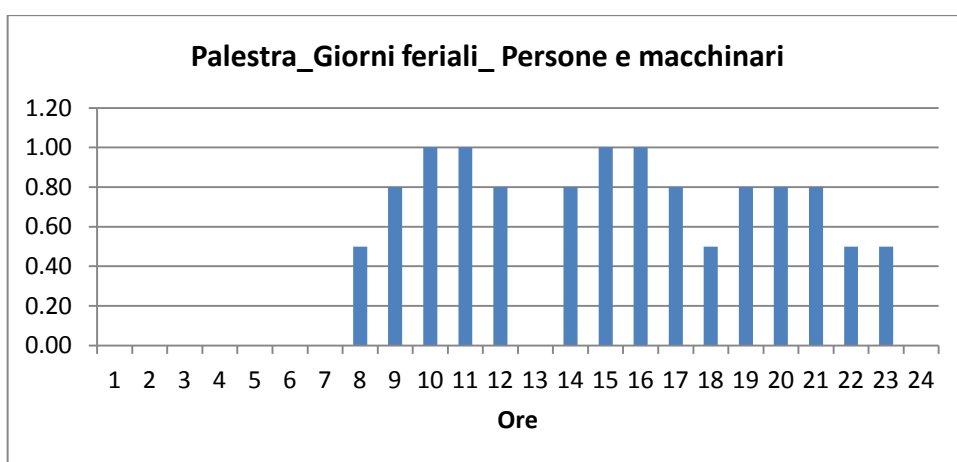


Figura 231 Palestra. Profilo di occupazione normalizzato degli occupanti e macchinari nei giorni feriali



Figura 232 Palestra. Profilo di occupazione normalizzato degli occupanti e macchinari nei giorni festivi

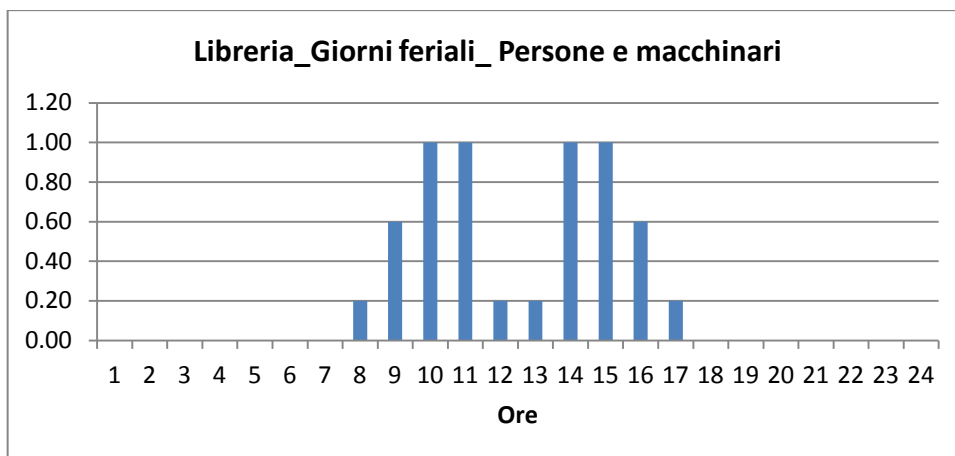


Figura 233 Libreria. Profilo di occupazione normalizzato degli occupanti e macchinari nei giorni feriali

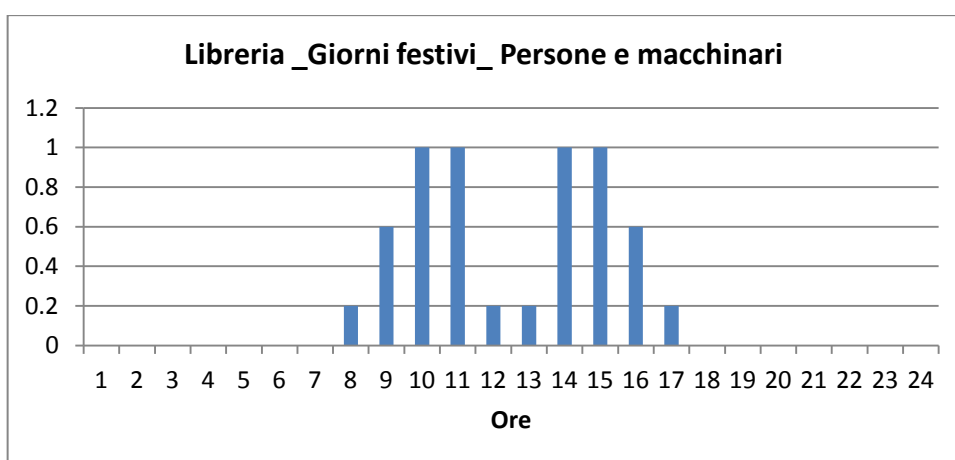


Figura 234 Libreria. Profilo di occupazione normalizzato degli occupanti e macchinari nei giorni festivi

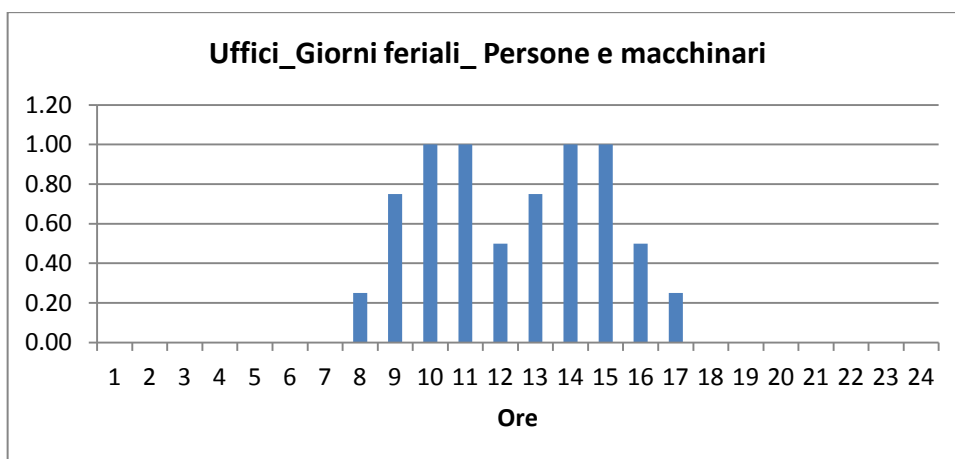


Figura 235 Ufficio. Profilo di occupazione normalizzato degli occupanti e macchinari nei giorni feriali



Figura 236 Ufficio. Profilo di occupazione normalizzato degli occupanti e macchinari nei giorni festivi

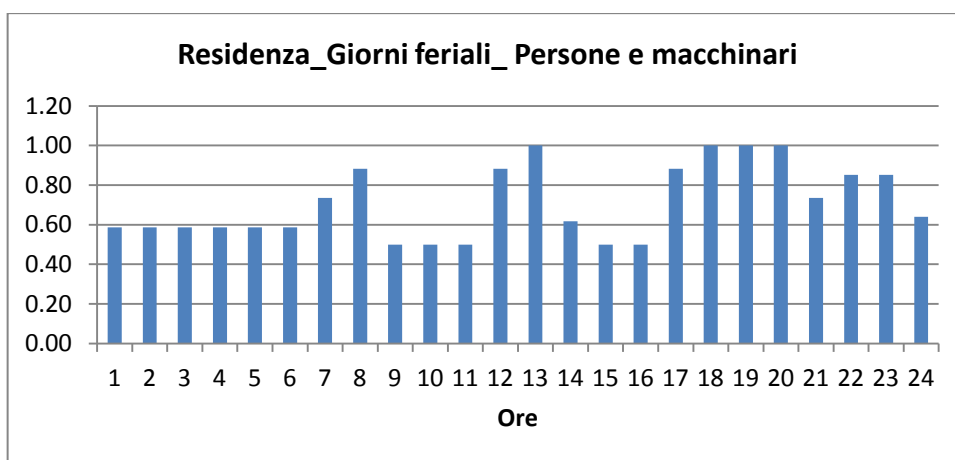


Figura 237 Residenza. Profilo di occupazione normalizzato degli occupanti e macchinari nei giorni feriali

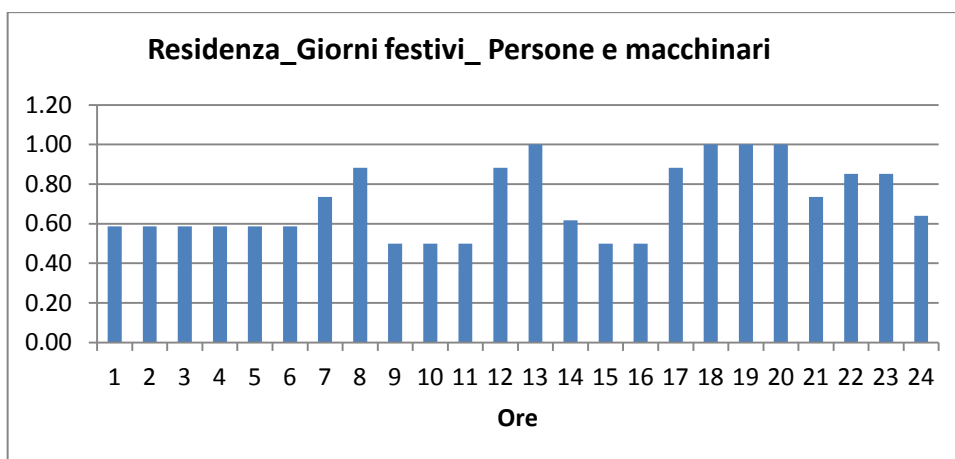


Figura 238 Residenza. Profilo di occupazione normalizzato degli occupanti e macchinari nei giorni festivi

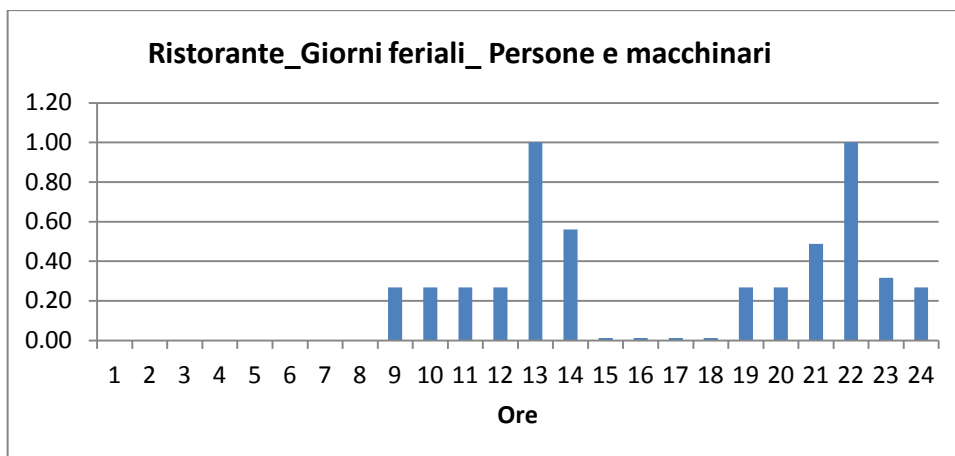


Figura 239 Ristorante. Profilo di occupazione normalizzato degli occupanti e macchinari nei giorni feriali

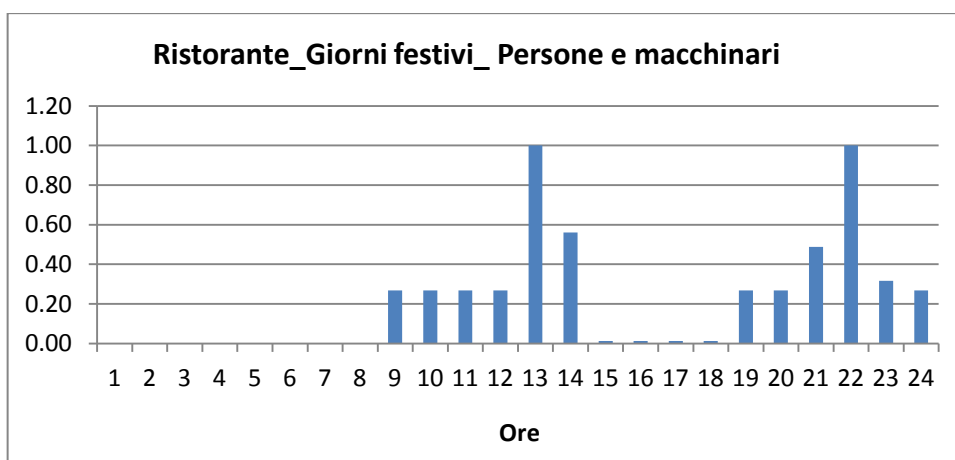


Figura 240 Ristorante. Profilo di occupazione normalizzato degli occupanti e macchinari nei giorni festivi

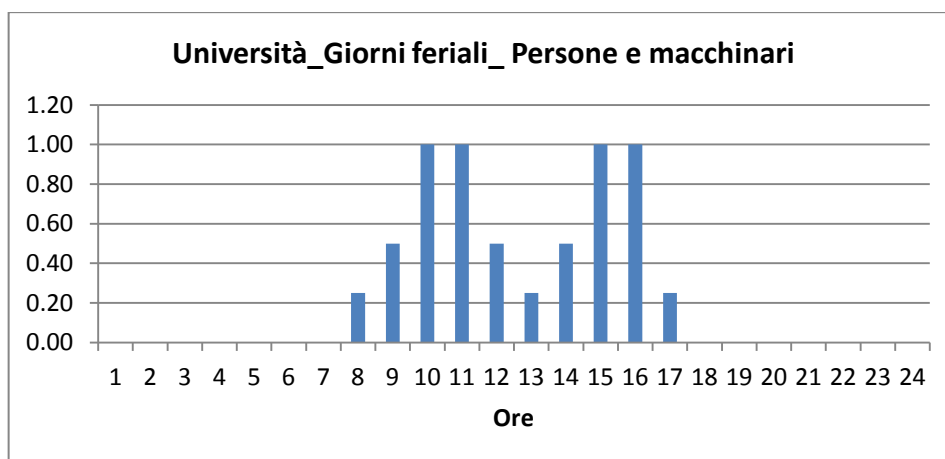


Figura 241 Università. Profilo di occupazione normalizzato degli occupanti e macchinari nei giorni feriali



Figura 242 Università. Profilo di occupazione normalizzato degli occupanti e macchinari nei giorni festivi

In questa simulazione è stato valutato l'impatto delle persone e dei macchinari nel consumo energetico del campus. Nella tabella sottostante è indicata l'area di tutti gli edifici a progetto, con il numero di persone secondo la funzione, ed il numero di persone sommato agli apparecchi.

Tabella 65 Definizione delle area, funzioni ed occupazione degli edifici

Edifici	Area [m ²]	Piani	Area netta [m ²]	Funzione	Persone [m ²]	Tot occupazione
1			757.485	Abitazioni per studenti	0.025	31
1a	379.05	3	568.575		0.025	24
1b	55.32	2	55.32		0.025	2
1c	89.06	3	133.59		0.025	5
2			882.47	Abitazioni per studenti	0.025	37
2a	207.54	3	311.31		0.025	13
2b	88.01	2	88.01		0.025	4
2c	322.1	3	483.15		0.025	20
3			240.97	Caffetteria- Ristorante	0.35	72
3a	204.24	2	204.24		0.35	61
3b	73.46	1	36.73		0.35	11
4	332.37	3	498.555	Abitazioni per famiglie	0.025	21
5	449.16	3	673.74	Abitazioni per famiglie	0.025	29
6			474.09	Abitazioni per famiglie	0.025	21
6a	41.67	2	41.67		0.025	3
6b	288.28	3	432.42		0.025	18
7			651.33	Abitazioni per famiglie	0.025	27
7a	92.84	3	139.26		0.025	5
7b	65.82	2	65.82		0.025	3
7c	297.5	3	446.25		0.025	19
8			1064.08	Abitazioni per famiglie	0.025	45
8a	579.44	3	869.16		0.025	37
8b	75.7	2	75.7		0.025	3
8c	79.48	3	119.22		0.025	5

Edifici	Area [m ²]	Piani	Area netta [m ²]	Funzione	Persone [m ²]	Tot occupazione
9	787.84	3	1181.76	Abitazioni per famiglie	0.025	50
10	182.68	2	182.68	Abitazioni per famiglie	0.025	8
11	205.23	2	205.23	Abitazioni per famiglie	0.025	9
12			816.96	Stanze per la preghiera	0.25	241
12a	84.14	3	126.21	Stanze per la preghiera	0.25	38
12b	55.38	2	55.38	Stanze per la preghiera	0.25	16
12c	423.58	3	635.37	Stanze per la preghiera	0.25	187
13	348	3	522	Abitazioni per famiglie	0.025	22
14	64		0		Torre del vento	
15			3311.53		0.035	299
15a	236.33	3	354.495		0.035	32
15b	71.82	2	71.82		0.035	7
15c	68.46	2	68.46		0.035	6
15d	243.51	3	365.265	Laboratori	0.035	33
15e	36	3	54		Atrium	0
15f	387.81	3	581.715		0.035	52
15g	35.96	3	53.94		Atrium	0
15h	454.64	3	681.96		0.035	62
15i	35.91	3	53.865		Atrium	0
15j	278.61	3	417.915		0.035	38
15k	62.44	2	62.44		0.035	5
15l	307.05	3	460.575		0.035	41
15m	164.59	3	246.885		0.035	23
15n	35.91	3	53.865		Atrium	0
16	844.47	3	1266.705	Visitatori	0.035	114
17	64		0		Torre del vento	
18			3005.17	Laboratori	0.035	271
18a	223.77	3	335.655		0.035	30
18b	75.37	2	75.37		0.035	7
18c	1125.24	3	1687.86		0.035	152
18d	81.81	2	81.81		0.035	7
18e	238.78	3	358.17		0.035	33
18f	78.87	2	78.87		0.035	7
18g	258.29	3	387.435		0.035	35
19			196.49	Laboratori	0.035	18
19a	158.93	2	158.93		0.035	15
19b	75.12	1	37.56		0.035	3
20			195.935	Laboratori	0.035	18
20a	160.21	2	160.21		0.035	15

Edifici	Area [m²]	Piani	Area netta [m²]		Persone [m²]	Tot occupazione	
20b	71.45	1	35.725	Classi	0.035	3	
21	1167.79	3	1751.685		0.25	413	
22			3016.68		Laboratori	0.035	272
22a	136.68	3	205.02			0.035	18
22b	18.04	3	27.06		Atrium		0
22c	207	3	310.5			0.035	28
22d	35.92	3	53.88		Atrium		0
22e	342.42	3	513.63			0.035	46
22f	72.05	2	72.05			0.035	7
22g	208.07	3	312.105			0.035	28
22h	72.04	2	72.04		0.035	7	
22i	1020.89	3	1531.335		0.035	138	
23			84.475	Caffetteria- Ristorante	0.35	26	
23a	48.59	2	48.59		0.35	15	
23b	71.77	1	35.885		0.35	11	
24			186.73	Caffetteria- Ristorante	0.35	57	
24a	71.92	1	35.96		0.35	11	
24b	150.77	2	150.77		0.35	46	
25	2100.59	4	1050	Laboratori	0.035	95	
26	64		0		Torre del vento		
27			652.795	Laboratori	0.035	59	
27a	133.21	2	133.21		0.035	12	
27b	71.99	1	35.995		0.035	3	
27c	483.59	2	483.59		0.035	44	
28			861.725	Visitatori	0.035	78	
28a	27.53	3	41.295		Atrium		
28b	208.28	3	312.42			0.035	28
28c	35.66	3	53.49		Atrium		
28d	234.79	3	352.185			0.035	32
28e	72.83	2	72.83			0.035	7
28f	82.86	3	124.29		0.035	11	
29			103.19	Caffetteria- Ristorante	0.35	31	
29a	73.8	1	36.9		0.35	11	
29b	66.29	2	66.29		0.35	20	
30	64		0		Torre del vento		
31			297.7	Laboratori	0.035	26	
31a	261.54	2	261.54		0.035	23	
31b	72.32	1	36.16		0.035	3	
32	1187.83	3	1781.745	Laboratori	0.035	160	
33			206.52	Laboratori	0.035	19	
33a	107.27	2	107.27		0.035	10	
33b	71.98	1	35.99		0.035	3	
33c	63.26	2	63.26		0.035	6	
34			2493.015	Gran Auditorium	0.25	735	

Edifici	Area [m ²]	Piani	Area netta [m ²]		Persone [m ²]	Tot occupazione
34a	90.16	2	90.16	Amministrazione	0.25	27
34b	433.6	3	650.4		0.25	192
34c	94.73	2	94.73		0.25	28
34d	1105.15	3	1657.725		0.25	488
35			928.32		0.035	74
35a	36.66	3	54.99		Atrium	0
35b	325.59	3	488.385		0.035	44
35c	35.27	3	52.905		Atrium	0
35d	221.36	3	332.04		0.035	30
36			971.66	Libreria	0.1	119
36a	228.92	3	343.38	Laboratori	0.1	42
36b	96.92	2	96.92		0.1	12
36c	354.24	3	531.36		0.1	65
37			676.5		0.035	
37a	276.73	2	276.73		0.035	25
37b	68.96	1	34.48		0.035	3
37c	330.92	2	330.92		0.035	30
37d	68.74	1	34.37		0.035	3
38	350.25	2	350.25	Caffetteria- Ristorante	0.35	106
39	64		0		Torre del vento	
40			1364.425	Laboratori	0.035	
40a	220.96	3	331.44	Palestra	0.035	30
40b	76	2	76		0.035	7
40c	637.99	3	956.985		0.035	86
41			1493.29		0.33	
41a	577.88	3	866.82		0.33	305
41b	65.23	2	65.23		0.33	23
41c	374.16	3	561.24		0.33	197
42	456.54	3	684.81	Caffetteria- Ristorante	0.35	207
43	255.98	3	383.97	Palestra	0.33	136
44	373.53	2	373.53	Palestra	0.33	131
45	311.4	2	311.4	Palestra	0.33	110
46			3390.7	Abitazioni per studenti	0.025	70
46a	210.14	3	315.21	Abitazioni per studenti	0.025	13
46b	31.18	3	46.77		Atrium	0
46c	410.79	3	616.185		0.025	26
46d	86.75	2	86.75		0.025	4
46e	435.88	3	653.82		0.025	27
47			598.455		0.025	26
47a	64.21	1	32.105		0.025	2
47b	566.35	2	566.35		0.025	24
48			540.26	Abitazioni per studenti	0.025	23

Edifici	Area [m ²]	Piani	Area netta [m ²]		Persone [m ²]	Tot occupazione
48a	172.63	3	258.945		0.025	11
48b	72.38	2	72.38		0.025	3
48c	139.29	3	208.935		0.025	9
50	64		0		Torre del vento	
51			2659.545	Palestra	0.33	937
51a	214.17	3	321.255		0.33	113
51b	141.15	2	141.15		0.33	50
51c	1464.76	3	2197.14		0.33	774
52			2141.53	Abitazioni per studenti	0.025	90
52a	112.31	3	168.465		0.025	7
52b	117.65	2	117.65		0.025	5
52c	1064.41	3	1596.615		0.025	67
52d	71.72	2	71.72		0.025	3
52e	124.72	3	187.08		0.025	8

RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

I risultati sono definiti nella tabella e nei grafici sottostanti. Si può notare che gli edifici con il massimo consumo energetico sono i ristoranti, le palestre e l'auditorium. Precisamente gli edifici con la massima consumazione energetica per il raffrescamento sono i numeri 41, 43, 44 e 45, poiché sono gli edifici adibiti a palestra, e si trovano nella corte sportiva, sono quindi maggiormente esposti alla radiazione solare. La consumazione energetica totale del campus è pari a 5,731.06 [MWh] con la presenza delle persone, in assenza invece il valore è ridotto, e pari a 2,513.07 [MWh]. La differenza tra i due modelli è alta, pari all' 80 [%] nell'edificio 51, che ospita la palestra. La differenza tra le simulazioni è invece minima negli edifici residenziali.

Tabella 66 Consumazione energetica per edificio

Edif	Consumazione energetica per edificio [kWh/m ² y] con persone	Consumazione energetica per edificio [kWh/m ² y] senza persone	Differenza [%]
1	-44.97	-35.52	21.02
2	-40.74	-31.07	23.74
3	-113.55	-31.15	72.57
4	-36.61	-26.73	26.98
5	-35.34	-25.28	28.46
6	-37.41	-27.09	27.60
7	-36.80	-27.26	25.92
8	-42.21	-32.32	23.44
9	-33.57	-23.69	29.45
10	-41.25	-31.15	24.49
11	-32.55	-22.52	30.81
12	-114.75	-33.82	70.52
13	-35.00	-25.12	28.23
14	Torre del vento	Torre del vento	0.00

Edif	Consumazione energetica per edificio [kWh/m ² y] con persone	Consumazione energetica per edificio [kWh/m ² y] senza persone	Differenza [%]
15	-46.23	-25.30	45.29
16	-54.64	-32.57	40.40
17	Torre del vento	Torre del vento	0.00
18	-46.36	-24.28	47.63
19	-55.25	-33.50	39.36
20	-55.89	-34.04	39.09
21	-87.36	-23.09	73.57
22	-45.86	-24.15	47.33
23	-126.24	-43.77	65.33
24	-118.23	-35.17	70.25
25	-21.41	-16.31	23.84
26	Torre del vento	Torre del vento	0.00
27	-54.01	-32.14	40.50
28	-51.15	-31.42	38.57
29	-121.65	-41.15	66.18
30	Torre del vento	Torre del vento	0.00
31	-50.06	-29.26	41.55
32	-46.87	-24.61	47.51
33	-57.89	-36.27	37.35
34	-108.74	-25.87	76.21
35	-42.75	-23.35	45.38
36	-55.22	-24.27	56.05
37	-51.57	-29.76	42.31
38	-107.64	-22.03	79.53
39	Torre del vento	Torre del vento	0.00
40	-47.78	-25.82	45.96
41	-133.67	-34.07	74.51
42	-112.15	-26.80	76.10
43	-141.76	-42.99	69.68
44	-140.27	-43.16	69.23
45	-138.63	-40.44	70.83
46	-35.84	-26.39	26.36
47	-37.73	-27.74	26.47
48	-43.43	-33.39	23.11
50	Torre del vento	Torre del vento	0.00
51	-126.90	-24.79	80.46
52	-39.22	-29.35	25.16

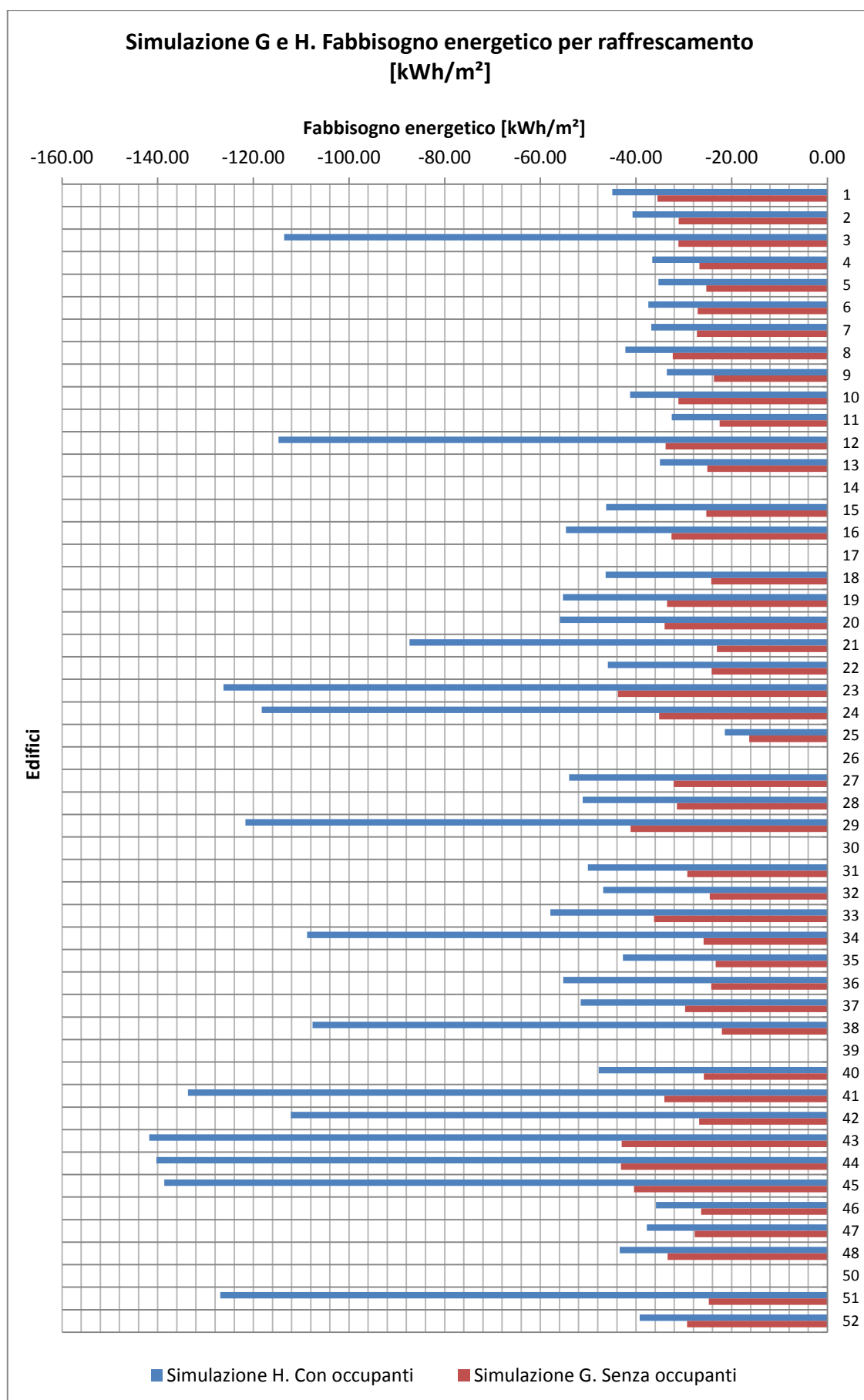


Figura 243 Quarta simulazione. Fabbisogno energetico per il raffrescamento [kWh/m²].

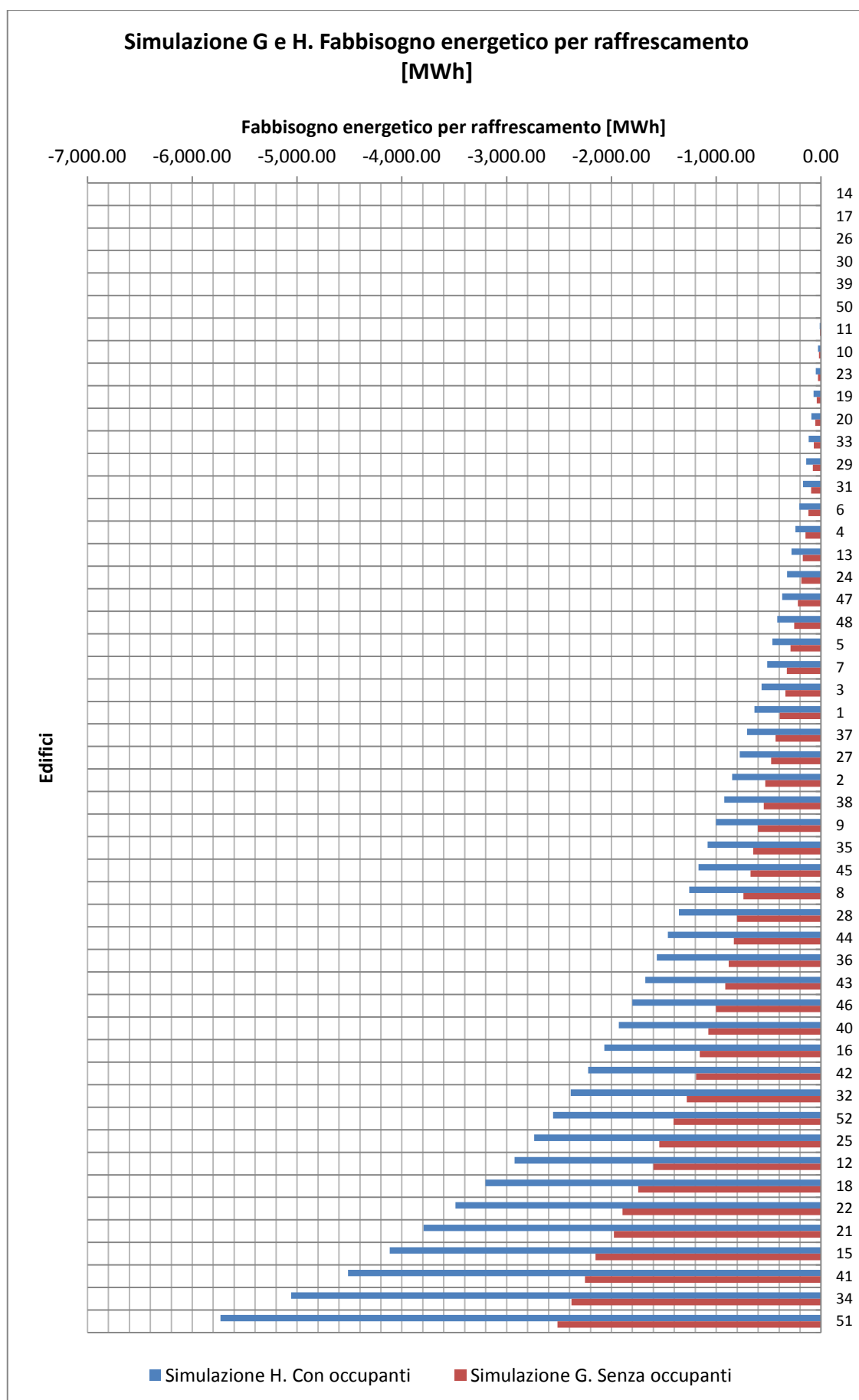


Figura 244 Quarta simulazione. Fabbisogno energetico per il raffrescamento [MWh].

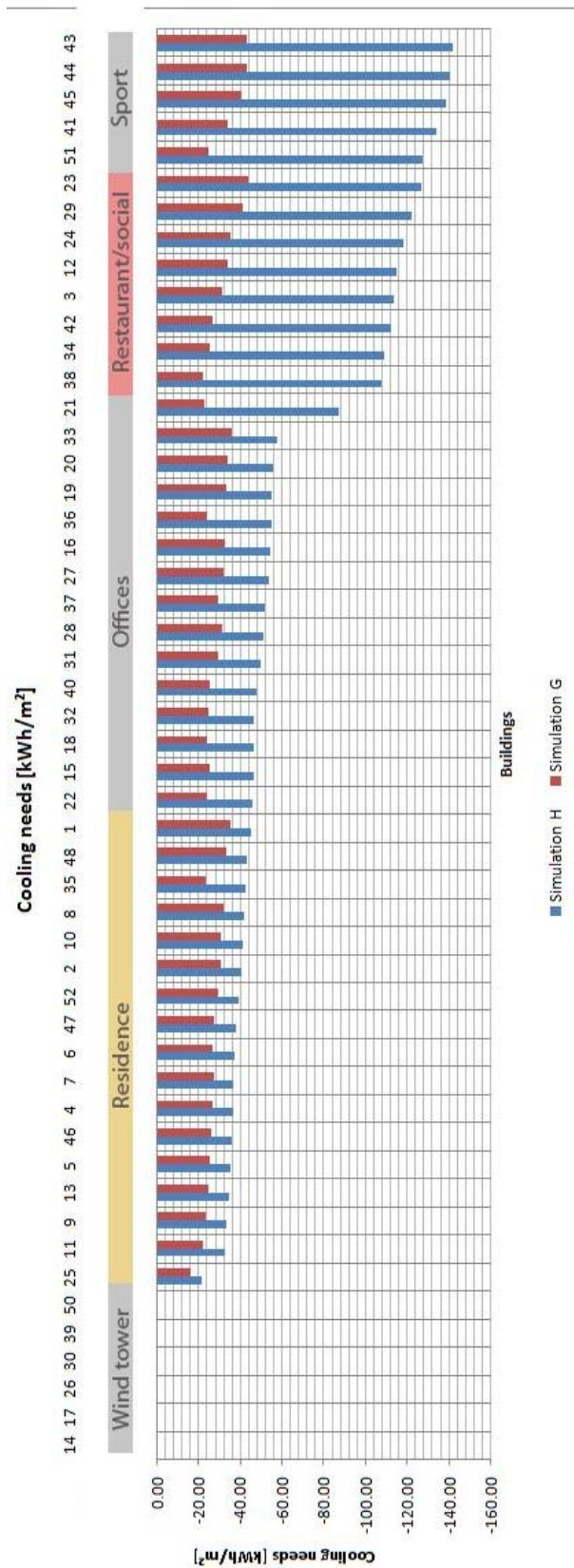


Figura 245 Quarta simulazione. Fabbisogno energetico per il raffrescamento [kWh/m²].

6.3.3 L'IMPATTO DELLA VENTILAZIONE NATURALE

L'ultima simulazione riguarda l'impatto della ventilazione naturale, ovvero l'apertura meccanica delle finestre, quando la temperatura esterna è inferiore di un grado all'interna. CitySim infatti prevede l'apertura delle finestre automaticamente, ma rispondendo al comportamento umano di aprire i serramenti per raffrescare l'ambiente interno e cambiare l'aria. In questa simulazione è stato analizzato l'edificio n.21, e dai risultati si può notare che le finestre vengono aperte durante le ore più fresche nei mesi invernali, ma rimangono chiuse in quelli estivi. Nella figura 247 è rappresentato il comportamento delle aperture il 2 gennaio: in questo caso il ricambio d'aria è garantito durante tutto il giorno, tranne dalle 13 alle 17. La ventilazione naturale ha un ruolo molto importante nel consumo energetico, infatti nella simulazione in cui sono state chiuse tutte le finestre il consumo è aumentato fino al 18 [%] nell'edificio 21.

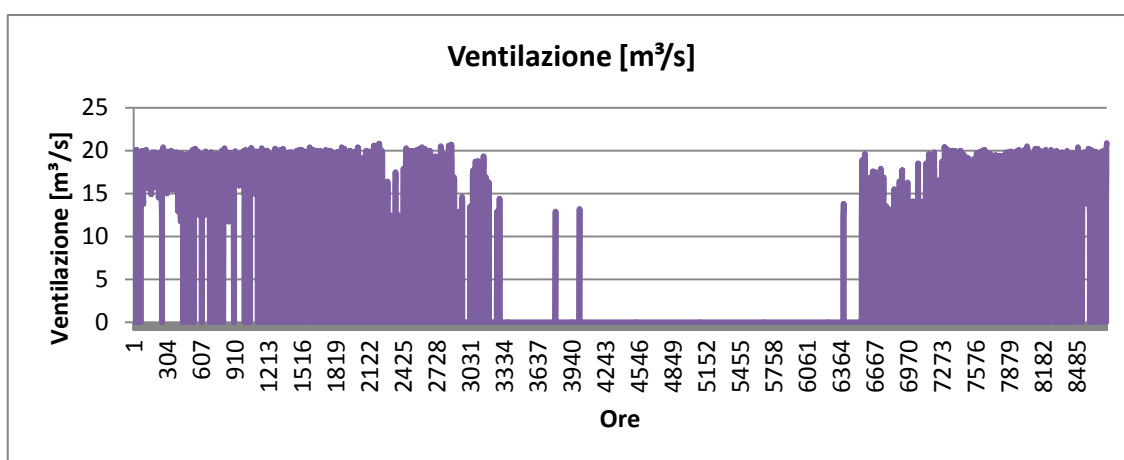


Figura 246 Ventilazione naturale annuale

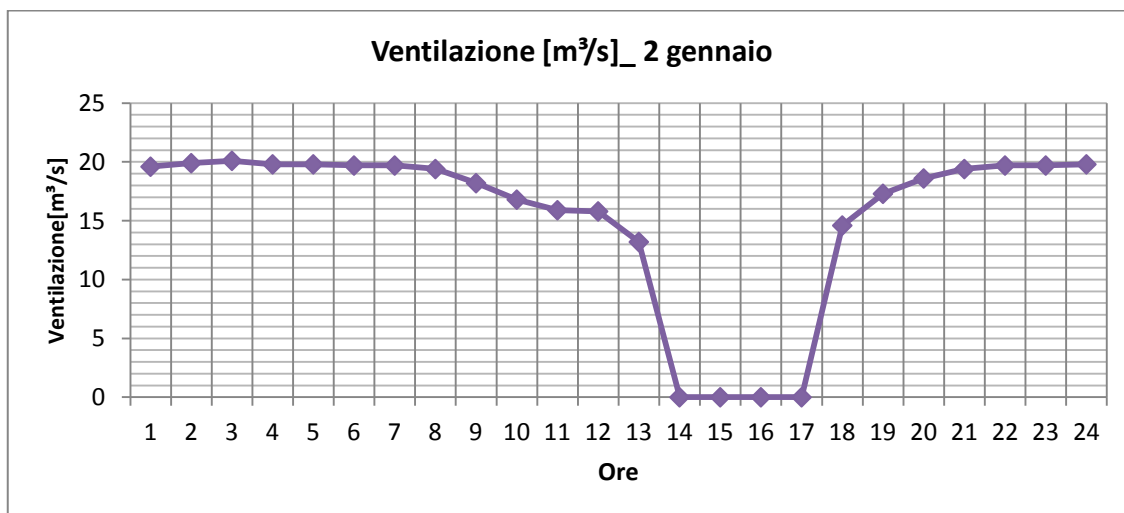


Figura 247 Ventilazione naturale oraria del 2 gennaio.

La figura 248 riassume il fabbisogno energetico degli edifici. In esso è possibile notare l'impatto dei diversi parametri analizzati, come la percentuale della superficie fenestrata, la presenza o assenza delle persone, la ventilazione naturale. Le simulazioni effettuate possono essere lette come l'ottimizzazione del progetto, ricercando di migliorare il consumo energetico simulazione dopo simulazione.

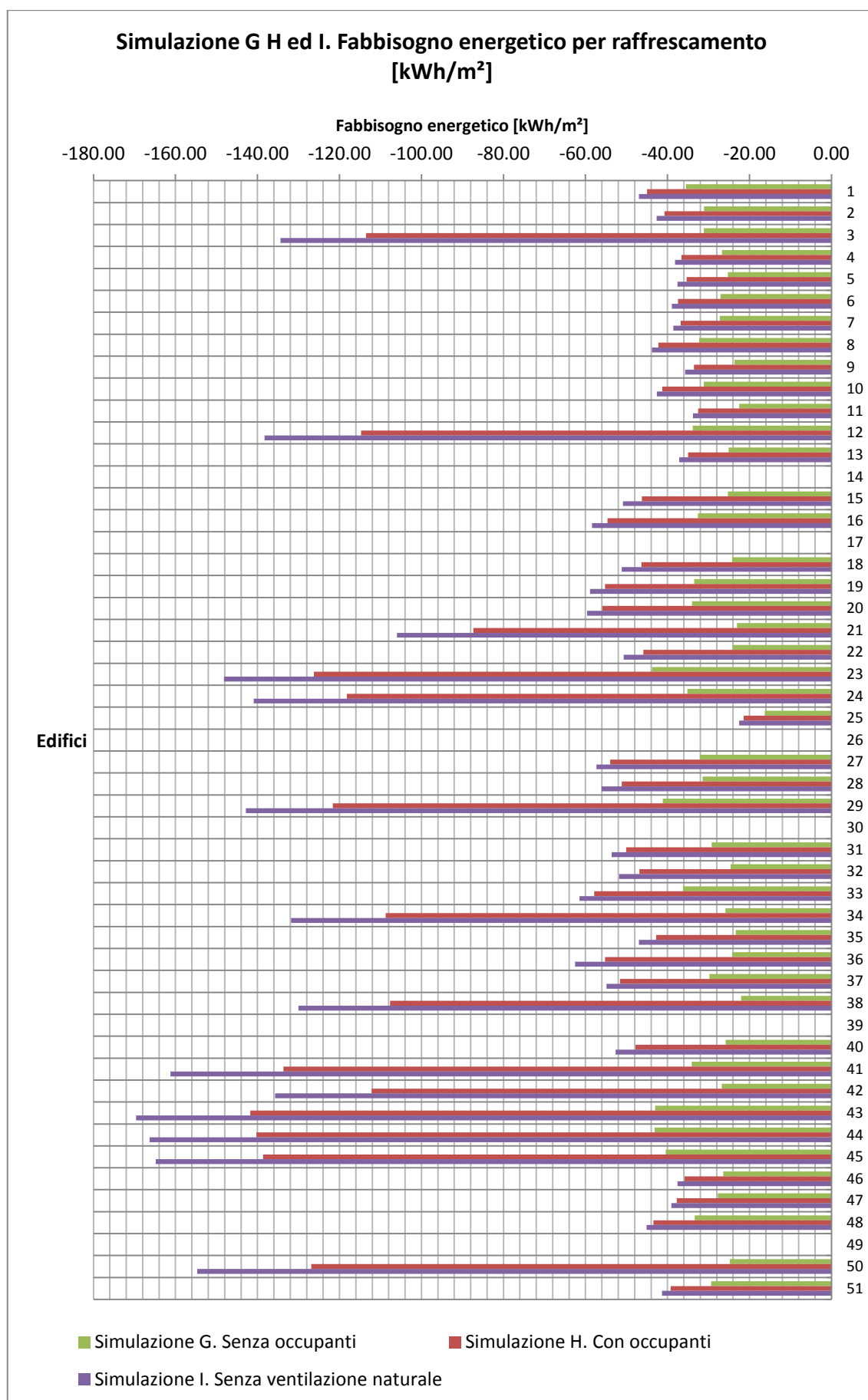


Figura 248 Simulazione finale

7.0 CONCLUSIONI

La politica ambientale europea definisce le sue basi sullo sviluppo sostenibile e sulla tutela ambientale, proteggendo le specie e gli habitat minacciati, ed usando le risorse naturali con maggiore efficienza.

L'utilizzo di energie rinnovabili, la mobilità sostenibile, la riduzione dei consumi sono temi attuali, sui quali si stanno confrontando i maggiori esperti del settore.

Il tema della sostenibilità urbana è sicuramente uno dei più affascinanti, poiché racchiude in sé tutti i complessi caratteri umani. L'80 [%] della popolazione mondiale abiterà le città entro il 2050. Questo significa che è necessario portare una grande attenzione al tema urbano, cercando di ottimizzare l'efficienza energetica della macchina urbana. Ma come intervenire in questo sistema complesso? Come ottimizzare la funzionalità urbana, i trasporti, il consumo energetico? Sicuramente un primo passo risiede nell'analisi della città esistente, evidenziando i punti di forza e debolezza, per definire dei piani strategici in grado di ottimizzare i consumi.

L'obiettivo di questa tesi è la realizzazione di un nuovo insediamento, nella fattispecie il nuovo campus per l'EPFL negli Emirati Arabi, partendo da un approccio bioclimatico, per realizzare un masterplan ecosostenibile. Il tema della sostenibilità viene quindi applicato in un ambiente di per sé climaticamente insostenibile, ovvero un sito desertico in un paesaggio non urbanizzato.

Il primo approccio è stato dedicato allo studio del patrimonio culturale, analizzando l'architettura tradizionale araba, dalla scala urbana a quella architettonica. La medina araba è stata analizzata come archetipo tradizionale, e come struttura bioclimatica, grazie alla sua struttura compatta, data dall'aggregazione spontanea di abitazioni a corte in un contesto urbano continuo. L'approccio urbano del progetto è stato influenzato dalla definizione dei flussi di persone come metodo per la pianificazione.

Successivamente sono stati analizzati gli Emirati Arabi, da un punto di vista economico, sociale e culturale. Da questo è emersa la ricchezza della popolazione ed il grande divario sociale. Gli Emirati Arabi si offrono come grande potenzialità per l'utilizzo delle tecnologie rinnovabili: infatti la grande ricchezza derivante dalle fonti petrolifere ha creato un forte sviluppo economico, sociale ed architettonico, creando una società attualmente assolutamente insostenibile, ma disposta a studiare e sperimentare le nuove tecnologie, come nel caso della città sostenibile di Masdar. Nell'analisi sono stati individuati principali problemi dell'area, come la carenza di acqua, e le potenzialità energetiche rinnovabili, come la radiazione solare.

Un approccio architettonico sostenibile prevede però un'attenta analisi climatica del sito: il clima risulta arido, con alte temperature estive, fino a 46 [°C] nel mese di Luglio, con una differenza giornaliera di 15 [°C]. Le precipitazioni sono limitate, pari a circa 110 [mm/anno] ed unicamente nei mesi invernali. Ma l'elemento più interessante riguarda l'analisi dei venti, necessari per garantire il raffrescamento naturale degli edifici: tecnologia applicata storicamente nella cultura araba, grazie alla torri del vento o bagdir. Il vento preponderante è la brezza marina da Nord- Ovest, principalmente diurna, con una

velocità media pari a 2.5 [m/s]. Vi è inoltre il vento da Sud, che sferza nel mese di agosto, e crea le tempeste di sabbia.

Come predetto le analisi del progetto sono state effettuate grazie al software CitySim, che essendo stato sviluppato all'interno dell'università svizzera, e non essendo ancora in commercio, risultava interessante da applicare, per capire l'esattezza dei calcoli effettuati dal software. Per questo motivo sono stati analizzati due edifici siti a Ras Al Khaimah. L'obiettivo è stata la comparazione dei risultati ottenuti da due studenti in visita al LESO, Maria Papadopoulou e Aabid Fouad, grazie al software Energyplus, con i risultati ottenuti con CitySim. L'obiettivo era dimostrare la correttezza di CitySim, ed applicare gli standard Minergie dei paesi Arabi al progetto.

A partire dall'analisi bioclimatica sono stati definiti due progetti, evidenziando i primi approcci bioclimatici, come l'altezza degli edifici e l'orientamento.

La forma urbana del progetto è stata definita grazie al software CitySim. Sono stati analizzati diversi edifici con diversi numeri di piani concludendo che è indispensabile minimizzare la superficie esterna e massimizzare il volume interno. Sono stati successivamente studiati diversi edifici in linea ed a corte, valutando la riduzione del consumo energetico in questi ultimi, e la diversa radiazione solare sulle superfici esterne. La radiazione solare è stata inoltre studiata su ogni singolo piano, evidenziando la differenza fino al 41 [%] tra il piano terreno e secondo in una facciata rivolta a Sud- Ovest. Da queste simulazioni è emerso che le finestre debbano essere principalmente posizionate sulle facciate Nord e Sud, garantendo la protezione solare nei mesi estivi, ed una corretta illuminazione degli ambienti interni nel periodo invernale.

Come ultima analisi è stato studiato il confort termico dei pedoni, nei canyon urbani e nelle corti. Nella prima analisi è stata definita la radiazione solare su di un pedone, il 21 giugno alle ore 12.00, come pari a 622 [Wh/m²]. Il pedone si trova quindi in una situazione di confort, sapendo che la radiazione solare risulta confortevole se compresa tra 200 e 800 [Wh/m²].

Gli studi sull'irradiazione solare e sulla forma urbana bioclimatica sono stati applicati nel disegno del masterplan, che riprende concettualmente la forma della medina araba, ottimizzando la ventilazione naturale, grazie alla disposizione ortogonale degli edifici rispetto al vento di Nord- Ovest. Il progetto si sviluppa lungo le stelle direttrici della costellazione del Cancro: il tema della costellazione ricalca la cultura astronomica, cara alle popolazioni arabe. Nello stesso tempo reinterpreta la tradizione astronomica, come mappa celeste: in passato i naviganti utilizzavano le stelle per orientarsi in mare, allo stesso modo gli studenti nel progetto potranno riconoscere la loro posizione nelle ore diurne grazie alle torri del vento, e di notte grazie alla costellazione stessa.

Le funzioni sono organizzate a partire dalla zona centrale, in cui sono siti tutti i servizi, e da cui si diramano le altre funzioni. Ogni corte ha una funzione, da spazio pubblico a giardino privato nelle residenze.

Valutando il problema legato all'approvvigionamento dell'acqua, è stato studiato un metodo per creare acqua dall'umidità, e raccogliere l'acqua piovana.

Il campus a progetto è stato simulato con CitySim, definendo il fabbisogno energetico del campus per il raffrescamento, pari a 5,731.06 [MWh] con gli occupanti, e 2,513.07 [MWh] senza occupanti. Il valore di consumo energetico per persona è pari a 1,503 [Watt].

Nell'ottica della sostenibilità il campus cerca di ottimizzare le risorse esistenti, producendo energia dalla radiazione solare, sfruttando la ventilazione naturale grazie alle torri del vento, alle correnti d'area nelle corti, ed agli atrium tra gli edifici. Inoltre l'approvvigionamento idrico viene garantito grazie ad un sistema di trasformazione dell'umidità in acqua, ed alla raccolta dell'acqua piovana. Dal lato mobilità si prevede invece un sistema di trasporto sostenibile, impermeato sul traffico pedonale e ciclabile.

Il progetto della nuova sede dell'EPFL è stato trattato a partire da un approccio bioclimatico, storico e culturale. La tesi si propone quindi di evidenziare la metodologia, grazie all'utilizzo di CitySim, per ottenere un progetto sostenibile, analizzando sia gli aspetti bioclimatici connessi alla più recenti tecnologie, sia la tradizione locale.

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 Popolazione araba per emirato e sesso. Fonte National Bureau of Statistic, 2010	11
Tabella 2 Popolazione totale per nazionalità e sesso. Fonte National Bureau of Statistic, 2010	11
Tabella 3 Rassunto delle fonti idriche convenzionali e non convenzionali negli Emirati Arabi. [10].....	24
Tabella 4 Ras Al Khaimah. Temperature [°C] annuali. I dati sono stati trasmessi in maniera confidenziale da Dr. Franco Vigliotti, rettore della facoltà EPFL Middle Est.	47
Tabella 5 Ras Al Khaimah. Umidità relativa [%] annuale. I dati sono stati trasmessi in maniera confidenziale da Dr. Franco Vigliotti, rettore della facoltà EPFL Middle Est.	48
Tabella 6 Umidità relativa. Zona di confort.	49
Tabella 7 Ras Al Khaimah. Precipitazioni [mm] annuali. I dati sono stati trasmessi in maniera confidenziale da Dr. Franco Vigliotti, rettore della facoltà EPFL Middle Est.	49
Tabella 8 Ras Al Khaimah. Velocità del vento [m/s] e frequenza massima. I dati sono stati calcolati per mezzo del software Meteonorm.....	50
Tabella 9 Ras Al Khaimah. Velocità del vento durante le differenti ore del giorno, media annuale. I dati sono stati calcolati per mezzo del software Meteonorm e rielaborati su excel	52
Tabella 10 Standard Minergie	58
Tabella 11 Standard Minergie negli Emirati Arabi Uniti.....	59
Tabella 12 Edificio per uffici. Temperature medie mensili [°C]	60
Tabella 13 Edificio per uffici. Velocità del vento media mensile [m/s].....	60
Tabella 14 Edificio per uffici. Direzione del vento [°].....	61
Tabella 15 Edificio per uffici. Umidità relativa [%]	61
Tabella 16 Edificio per uffici. Alba e tramonto.....	61
Tabella 17 Edificio per uffici. Composizione dei muri esterni. Esterno- interno.....	65
Tabella 18 Edificio per uffici. Consumazione energetica mensile.....	65
Tabella 19 Edificio per uffici. Composizione dei muri esterni. Esterno- interno.....	72
Tabella 20 Edificio per uffici Minergie. Consumazione energetica mensile.....	72
Tabella 21 Villa. Temperature medie mensili [°C].....	76
Tabella 22 Villa. Velocità del vento media mensile [m/s]	77
Tabella 23 Villa. Direzione del vento [°].....	77
Tabella 24 Villa. Umidità relativa [%]	78
Tabella 25 Villa. Alba e tramonto.....	78
Tabella 26 Villa. Temperatura media tra marzo e novembre [°C]	80
Tabella 27 Villa. Composizione dei muri esterni. Esterno- interno.....	80
Tabella 28 Villa esistente. Consumazione energetica mensile	81
Tabella 29 Edificio per uffici. Composizione dei muri esterni. Esterno- interno.....	89
Tabella 30 Villa Minergie. Consumazione energetica mensile	90
Tabella 31 Al Khaimah. Velocità del vento [m/s] e frequenza massima. I dati sono stati calcolati per mezzo del software Meteonorm.....	104
Tabella 32 Ras Al Khaimah. Velocità del vento durante le differenti ore del giorno, media annuale. I dati sono stati calcolati per mezzo del software Meteonorm e rielaborati su excel	105

Tabella 33 Edificio per uffici. Composizione dei muri esterni. Esterno- interno.....	111
Tabella 34 Studio morfologico. Edifici con finestre sui tetti.....	112
Tabella 35 Studio morfologico. Edifici senza le finestre sui tetti.....	112
Tabella 36 Edificio per uffici. Composizione dei muri esterni. Esterno- interno.....	115
Tabella 37 Studio morfologico. Consumazione energetica per edifici a due piani.....	116
Tabella 38 Studio morfologico. Consumazione energetica per edifici a tre piani, ed indicazione della radiazione solare.....	117
Tabella 39 Studio morfologico. Confronto tra la consumazione energetica per edifici a due e tre piani.....	118
Tabella 40 Studio morfologico. Radiazione solare annuale.....	122
Tabella 41 Parametri legati al confort termico del soggetto[25]	128
Tabella 42 Emissione di calore per le diverse attività metaboliche. Norma EN- ISO 7730[25].....	128
Tabella 43 Resistenza termica di alcuni tipi di abbigliamento [25]	128
Tabella 44 Confort termico pedoni. Materiali.....	134
Tabella 45 Radiazione solare sui passanti e sugli edifici [Wh/m ²].....	139
Tabella 46 Confort termico dei passanti nella corte, fabbisogno per il raffrescamento [kWh]	140
Tabella 47 Masterplan C. Funzioni ed aree.....	144
Tabella 48 Ras Al Khaimah. Precipitazioni mensili [mm]. Dati Meteonorm, rielaborazione su excel.....	164
Tabella 49 SIA “Utilisation rationnelle de l’eau potable dans les bâtiments”	165
Tabella 50 La popolazione a progetto nel Campus. Dati confidenziali forniti da Franco Vigliotti.....	165
Tabella 51 Ras Al Khaimah. Umidità relativa [%].....	166
Tabella 52 Umidità assoluta mensile [g/m ³].....	167
Tabella 53 Prof. Gleik, fabbisogno minimo giornaliero di acqua.....	169
Tabella 54 Fonti d'acqua.....	171
Tabella 55 Stack coefficient [33]	177
Tabella 56 Coefficiente del vento.....	178
Tabella 57 Edificio per uffici. Composizione dei muri esterni. Esterno- interno.....	179
Tabella 58 Prima simulazione. Risultati del fabbisogno energetico per il raffrescamento [kWh/m ²]	180
Tabella 59 Edificio n.15. Fabbisogno energetico per il raffrescamento [kWh/m ²].....	189
Tabella 60 Terza simulazione. Risultati del fabbisogno energetico per il raffrescamento [kWh/m ²].....	191
Tabella 61 Potenza dei macchinari per ogni funzione [W/m ²]	198
Tabella 62 Auditorium. Profilo di occupazione delle persone nei giorni feriali.....	198
Tabella 63 Auditorium. Profilo di occupazione dei macchinari nei giorni feriali	199
Tabella 64 Auditorium. Profilo di occupazione degli occupanti e macchinari nei giorni feriali.....	200
Tabella 65 Definizione delle area, funzioni ed occupazione degli edifici	206
Tabella 66 Consumazione energetica per edificio	210

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 Aumento delle temperature previsto dal 2020 al 2099 [2]	9
Figura 2 Popolazione araba per emirato. Fonte National Bureau of Statistic, 2010. Rielaborazione personale.....	12
Figura 3 Mappa degli Emirati Arabi Uniti.....	12
Figura 4 Reddito pro capite Emirati Arabi Uniti, classifica mondiale. Fonte CIA (USA)	13
Figura 5 Zone climatiche. Gli Emirati Arabi rientrano nella zona desertica[3]	14
Figura 6 Irradiazione solare annuale . Fonte: Meteonorm.....	14
Figura 7 Precipitazioni: media annuale negli Emirati Arabi[4].....	15
Figura 8 Precipitazioni: media mensile nelle diverse aree degli Emirati Arabi [1967/68-1991/92]. In rosso la costa Ovest. [5]	15
Figura 9 Zone bioclimatiche negli Emirati Arabi Uniti. In arancione: semi-umido, giallo: semi arido, rosso: arido.....	15
Figura 10 Eco- regioni secondo la classificazione del WWF [6].....	16
Figura 11 Eco- regioni secondo la classificazione del WWF. Penisola Araba[6]	16
Figura 12 Il deserto di Ras Al Khaimah. Fonte: Flickr.com	17
Figura 13 Tempeste di sabbia, la direzione della sabbia nei confronti di un ostacolo[7]	18
Figura 14 Diverse tipologie di dune[8].....	18
Figura 15 Le dune nell'area di progetto del Masterplan, con indicazione delle direzioni principali del vento	19
Figura 16 Movimento delle dune rispetto alla velocità del vento [m/s][7]	20
Figura 17 Mese di Agosto. Velocità massima del vento [m/s]	20
Figura 18 Mese di Agosto. Velocità massima del vento [m/s]	21
Figura 19 Mese di Agosto. Direzione prevalente del vento.....	21
Figura 20 Mese di Agosto. Direzione prevalente del vento.....	21
Figura 21 Domanda d'acqua negli Emirati Arabi. Rielaborazione personale. Dati tratti da <i>"Comprehensive Assessment of Water Resources in the United Arab Emirates (UAE)"</i> [4]	22
Figura 22 Le principali falde acquifere negli Emirati Arabi [10].....	23
Figura 23 Mappa idrica degli Emirati Arabi, con indicazione della quota sotto il livello del mare in cui sono presenti delle falde sotto le dune[10]	23
Figura 24 Liwa oasis, immagine tratta da Google Earth.....	25
Figura 25 Al Ain Oasis. Immagine tratta da Wikipedia	25
Figura 26 e Figura 27 Pianta della Medina di Al Kas, in Arabia Saudita e la Medina di Al Malad, in Arabia Saudita. In rosso la moschea, in giallo le torri di difesa, in bianco le residenze[13]	28
Figura 28 Pianta della Medina di Al- Alkhalaf, in Arabia Saudita. In rosso la moschea, in giallo le torri di difesa, in nero le residenze [13].....	28
Figura 30 Mappa di Amsterdam, a partire dai percorsi di Peter e Jacobs[15].....	30
Figura 31 Mappa di Amsterdam, creata dalla rielaborazione dei dati GPS dei cittadini[15]	30
Figura 32 Mappa di Amsterdam. Ortofoto tratta da Google Earth.....	30
Figura 33 Carlo Ratti, studio del flusso di persone nella città di Milano, dalle 9.00 alle 13.00 [16]	31
Figura 34 Mappa di Milano, con indicazione delle città satellite. Ortofoto tratta da Google Earth.....	31

Figura 35 La città di Kashan in Iran. Ortofoto da Google Earth.....	34
Figura 36 Schema per indicare il funzionamento delle torri del vento durante le ore notturne e diurne[17]	35
Figura 37 Aspetti bioclimatici nella città di Kashan, Iran[17]	35
Figura 38 Pianta della Gated housing in Ar Riyad.....	36
Figura 39 L'inerzia termica di alcuni materiali[3]	37
Figura 40 Schema di un'abitazione a corte [19]	38
Figura 41 Differenti metodi per ombreggiare il patio[19]	38
Figura 42 Ottimizzazione delle ventilazione naturale in base alla tipologia della copertura [3]	39
Figura 43 L'architettura vernacolare, a sinistra "house Bukhash" a Dubai. A destra "house of Sheikh Al- Maktoum"	40
Figura 44 La città di Masdar. Tratto dal sito di Masdar	40
Figura 45 Masdar. Termo fotografia a confronto con Abu Dhabi. Tratto dal sito di Masdar	41
Figura 46 Masdar. Corte centrale. Tratto dal sito di Masdar	42
Figura 47 Masdar. Torre del vento. Tratto dal sito di Masdar	42
Figura 48 Kaust. Masterplan. Tratto dal sito di Kaust.....	43
Figura 49 Kaust. Le torri solari. Tratto dal sito di Kaust.....	43
Figura 51 Rak City. Vista aerea da Google Earth.....	44
Figura 50 Mappa di Ras Al Khaimah.....	44
Figura 52 Rak City. Il lungo mare.....	45
Figura 53 Rak City. Il museo storico di Ras Al Khaimah.....	45
Figura 54 Il forte di Dhayah	45
Figura 55 Misure per il risparmio energetico[20]	46
Figura 56 Ras Al Khaimah. Temperature [°C] annuali. I dati sono stati trasmessi in maniera confidenziale da Dr. Franco Vigliotti, rettore della facoltà EPFL Middle Est, e rielaborati su excel.....	48
Figura 57 Ras Al Khaimah. Umidità relativa [%]. I dati sono stati trasmessi in maniera confidenziale da Dr. Franco Vigliotti, rettore della facoltà EPFL Middle Est, e rielaborati su excel.....	49
Figura 58 Ras Al Khaimah. Precipitazioni [mm] annuali. I dati sono stati trasmessi in maniera confidenziale da Dr. Franco Vigliotti, rettore della facoltà EPFL Middle Est, e rielaborati su excel.....	50
Figura 59 Ras Al Khaimah. Velocità del vento [m/s] e frequenza massima. I dati sono stati calcolati per mezzo del software Meteonorm e rielaborati su excel.....	51
Figura 60 Ras Al Khaimah. Rosa del vento, con l'indicazione della velocità del vento [m/s] e la sua direzione. I dati sono stati calcolati per mezzo del software Meteonorm e rielaborati su excel.....	51
Figura 61 Ras Al Khaimah. Rosa del vento, con l'indicazione della frequenza del vento, e la sua direzione. I dati sono stati calcolati per mezzo del software Meteonorm e rielaborati su excel.....	52
Figura 62 Scala Beaufourt.....	53
Figura 63 Le diverse tipologie Minergie, Minergie P e Minergie A	57
Figura 64 Pianta dell'edificio per uffici sito a Ras Al Khaimah	59
Figura 65 Edificio per uffici. Modello CitySim	59
Figura 66 Parametri utilizzati nella simulazione di Papadopoulou [22].....	62

Figura 67 Edificio per uffici. Profilo di occupazione.....	63
Figura 68 Edificio per uffici esistente. Fabbisogno energetico per raffrescamento [kWh/m ²].....	66
Figura 69 Edificio per uffici esistente. Temperatura interna [°C].....	66
Figura 70 Edificio per uffici esistente. Radiazione solare annuale totale. Valore massimo 2006 [kWh/m ²].....	67
Figura 71 Edificio per uffici esistente. Radiazione solare mensile: marzo. Valore massimo 170 [kWh/m ²].....	67
Figura 72 Edificio per uffici esistente. Radiazione solare mensile: giugno. Valore massimo 212 [kWh/m ²].....	68
Figura 73 Edificio per uffici esistente. Radiazione solare mensile: settembre. Valore massimo 173 [kWh/m ²].....	68
Figura 74 Edificio per uffici esistente. Radiazione solare mensile: dicembre. Valore massimo 115 [kWh/m ²].....	69
Figura 75 Edificio per uffici esistente. Sensibilità dei parametri.....	70
Figura 76 Edificio per uffici Minergie. Fabbisogno energetico per raffrescamento [kWh].....	73
Figura 77 Edificio per uffici Minergie. Temperatura interna [°C].....	73
Figura 78 Edificio per uffici Minergie. Sensibilità dei parametri.....	74
Figura 79 Edificio per uffici. Fabbisogno energetico per raffrescamento [kWh/m ²].....	75
Figura 80 Edificio per uffici. Temperatura interna [°C].....	75
Figura 81 Villa in Ras Al Khaimah. Modello CitySim.....	76
Figura 82 Villa esistente. Fabbisogno energetico per raffrescamento [kWh/m ²].....	82
Figura 83 Villa esistente. Temperatura interna [°C].....	82
Figura 84 Villa esistente. Consumo elettrico per il raffrescamento [MJ].....	83
Figura 85 Villa. Radiazione solare annuale totale. Valore massimo 2019 [kWh/m ²].....	83
Figura 86 Villa. Radiazione solare annuale totale. Valore massimo 2019 [kWh/m ²].....	84
Figura 87 Villa. Radiazione solare mensile: marzo. Valore massimo 171 [kWh/m ²].....	84
Figura 88 Villa. Radiazione solare mensile: giugno. Valore massimo 213 [kWh/m ²].....	85
Figura 89 Villa. Radiazione solare mensile: settembre. Valore massimo 174 [kWh/m ²].....	85
Figura 90 Villa. Radiazione solare mensile: dicembre. Valore massimo 138 [kWh/m ²].....	86
Figura 91 Villa esistente. Sensibilità dei parametri.....	88
Figura 92 Villa Minergie. Fabbisogno energetico per raffrescamento [kWh/m ²].....	90
Figura 93 Villa Minergie. Temperatura interna [°C].....	91
Figura 94 Villa Minergie. Consumo elettrico per il raffrescamento [MJ].....	91
Figura 95 Villa Minergie. Sensibilità dei parametri.....	93
Figura 96 Villa. Fabbisogno energetico per raffrescamento [kWh/m ²].....	93
Figura 97 Villa. Temperatura interna [°C].....	94
Figura 98 Villa. Consumo elettrico per il raffrescamento [MJ].....	94
Figura 99 Emirato di Ras al Khaimah. Ortofoto da Google Earth.....	95
Figura 100 Ras al Khaimah, con indicazione dell'area del Masterplan. Ortofoto da Google Earth.....	96
Figura 101 Ras al Khaimah. Indicazione dei progetti esistenti nell'area[23].....	96
Figura 102 Elementi di protezione ed ombreggiamento delle corti interne e delle strade. [1].....	97
Figura 103 Immagini panoramiche del sito. Foto concesse confidenzialmente da Franco Vigliotti.....	98
Figura 104 Masterplan A. Concept e volumetrico.....	99

Figura 105 Masterplan A. Le funzioni	100
Figura 106 Masterplan A. Vista da Nord	101
Figura 107 Masterplan A. Vista da Est	101
Figura 108 Masterplan A. Vista da Ovest	101
Figura 109 Masterplan A. Vista da Sud	102
Figura 110 Masterplan A. Vista sulla via centrale. Dettaglio	102
Figura 111 Masterplan A. Vista sulla via centrale	102
Figura 112 Ras Al Khaimah. Rosa del vento, con l'indicazione della velocità del vento [m/s] e la sua direzione. I dati sono stati calcolati per mezzo del software Meteonorm e rielaborati su excel	103
Figura 113 Ras Al Khaimah. Rosa del vento, con l'indicazione della frequenza del vento, e la sua direzione. I dati sono stati calcolati per mezzo del software Meteonorm e rielaborati su excel	104
Figura 114 Masterplan B. Concept	105
Figura 115 Masterplan B. Funzioni	106
Figura 116 Masterplan B. Vista da Nord	107
Figura 117 Masterplan B. Vista da Est	107
Figura 118 Masterplan B. Vista da Ovest	107
Figura 119 Masterplan B. Vista da Sud	107
Figura 120 Masterplan B. Percezione notturna	108
Figura 121 Masterplan B. Percezione notturna e dettaglio della corte centrale	108
Figura 122 Masterpan A. Social area	109
Figura 123 Studio morfologico. Radiazione solare sugli edifici. Valore massimo 2020 [kWh/m ²]	113
Figura 124 Studio morfologico. Le piante analizzate	113
Figura 125 Studio morfologico. Tipologia A. Radiazione solare annuale . Valore massimo 2020 [kWh/m ²]	118
Figura 126 Studio morfologico. Tipologia B. Radiazione solare annuale . Valore massimo 2020 [kWh/m ²]	118
Figura 127 Studio morfologico. Tipologia C. Radiazione solare annuale . Valore massimo 2020 [kWh/m ²]	119
Figura 128 Studio morfologico. Tipologia D. Radiazione solare annuale . Valore massimo 2020 [kWh/m ²]	119
Figura 129 Studio morfologico. Tipologia E. Radiazione solare annuale . Valore massimo 2020 [kWh/m ²]	119
Figura 130 Studio morfologico. Tipologia F. Radiazione solare annuale . Valore massimo 2020 [kWh/m ²]	120
Figura 131 Studio morfologico. Tipologia F. Radiazione solare mensile: marzo . Valore massimo 170 [kWh/m ²]	120
Figura 132 Studio morfologico. Tipologia F. Radiazione solare mensile: giugno . Valore massimo 212 [kWh/m ²]	121
Figura 133 Studio morfologico. Tipologia F. Radiazione solare mensile: settembre . Valore massimo 174 [kWh/m ²]	121
Figura 134 Studio morfologico. Tipologia F. Radiazione solare mensile: dicembre . Valore massimo 137 [kWh/m ²]	121
Figura 135 Studio morfologico. Radiazione solare annuale [kWh/m ²]	123

Figura 136 Studio morfologico. Radiazione solare annuale . Valore massimo 2020 [kWh/m ²]	123
Figura 137 Studio morfologico. Radiazione solare mensile: marzo . Valore massimo 171 [kWh/m ²]	124
Figura 138 Studio morfologico. Radiazione solare mensile: giugno. Valore massimo 213 [kWh/m ²]	124
Figura 139 Studio morfologico. Radiazione solare mensile: settembre . Valore massimo 174 [kWh/m ²]	125
Figura 140 Studio morfologico. Radiazione solare mensile: dicembre. Valore massimo 115 [kWh/m ²]	125
Figura 141 Densità dell'aria in funzione della temperatura	126
Figura 142 Confort termico per diverse attività ed abbigliamento[25]	129
Figura 143 Condizioni di confort, a sinistra in pieno sole, a destra in ombra	131
Figura 144 Pianta dell'antica Medina di Fez, a sinistra, e della Nouvelle Ville a destra[27]	133
Figura 145 Temperatura media giornaliera nel periodo estivo ed invernale, registrate nella Medina (Deep), la Nouvelle Ville (Shallow) e nelle aree rurali circostanti [27]	133
Figura 146 Caso studio A_ urban canyon_pianta	135
Figura 147 Orientazione Est- Ovest, distanza tra gli edifici: 2 [m]. Radiazione solare, risultato annuale . Valore Massimo 2020 [kWh/m ²]	136
Figura 148 Orientazione Est- Ovest, distanza tra gli edifici: 2 [m]. Radiazione solare, 21 giugno ore 12.00. Valore sul pedone 286 [Wh/m ²]	136
Figura 149 Orientazione Est- Ovest, distanza tra gli edifici: 5 [m]. Radiazione solare, risultato annual. Valore Massimo 2020 [kWh/m ²]	137
Figura 150 Orientazione Est- Ovest, distanza tra gli edifici: 5 [m]. Radiazione solare, 21 giugno ore 12.00. Valore sul pedone 351 [Wh/m ²]	137
Figura 150 Orientazione Nord- Sud, distanza tra gli edifici: 2 [m]. Radiazione solare, risultato annual. Valore Massimo 2020 [kWh/m ²]	137
Figura 151 Orientazione Nord- Sud, distanza tra gli edifici: 2 [m]. Radiazione solare, 21 giugno ore 12.00. Valore sul pedone 521 [Wh/m ²]	138
Figura 152 Orientazione Nord- Sud, distanza tra gli edifici: 5 [m]. Radiazione solare, risultato annual. Valore Massimo 2020 [kWh/m ²]	138
Figura 153 Orientazione Nord- Sud, distanza tra gli edifici: 5 [m]. Radiazione solare, 21 giugno ore 12.00. Valore sul pedone 622 [Wh/m ²]	138
Figura 155 Pianta delle casa a corte ed indicazione delle persone	139
Figura 156 Radiazione solare annuale [kWh/m ²]	140
Figura 157 Confort termico dei passanti nella corte, fabbisogno per il raffrescamento [kWh]	141
Figura 158 Masterplan C. Concept	142
Figura 159 Masterplan C. Funzioni	143
Figura 160 Funzioni. Residenza	146
Figura 161 Funzioni. Learning e social area	146
Figura 162 Funzioni. Sport	147
Figura 163 Funzioni. Laboratori	147
Figura 164 Masterplan C. Vista da Nord	148
Figura 165 Masterplan C. Vista da Est	148
Figura 166 Masterplan C. Vista da Ovest	148

Figura 167 Masterplan C. Vista da Sud.....	148
Figura 168 Vista sulla corte sportiva.....	149
Figura 169 Vista del percorso sulle coperture	149
Figura 170 Vista della zona ristorazione	150
Figura 171 Vista nella corte centrale	150
Figura 172 Fotoinserimento del progetto.....	150
Figura 173 I percorsi pedonali, ciclabili, gli accesso carrai.....	152
Figura 174 Flusso delle persone. Soggetto S1, ore 8.00 e 10.00	153
Figura 175 Flusso delle persone. Soggetto S1, ore 12.00 e 18.00.....	153
Figura 176 Flusso delle persone. Soggetto S1, ore 22.00 , soggetto S2 ore 8.00	154
Figura 177 Flusso delle persone. Soggetto S2, ore 10.00 e 12.00.....	154
Figura 178 Flusso delle persone. Soggetto S2, ore 18.00 e 22.00.....	155
Figura 179 Sovrapposizione dei flussi S1 e S2, ed individuazione dei principali punti di aggregazione.....	155
Figura 180 Masterplan C. Vegetazione	157
Figura 181 European Fan Palms (<i>Chamaerops humilis</i>). Fonte Wikipedia	158
Figura 182 Chinese Windmill Palm (<i>Trachyparus fortunei</i>). Fonte Wikipedia	158
Figura 183 Bismark Palm (<i>Bismarckia nobilis</i>). Fonte Wikipedia	159
Figura 184 Australian Cabbage Palm (<i>Livistona australis</i>). Fonte Wikipedia	159
Figura 185 Bermuda Palmetto (<i>Sabal bermudana</i>). Fonte Wikipedia	160
Figura 186 Canary Island Date Palm (<i>Phoenix canariensis</i>). Fonte Wikipedia	160
Figura 187 Date Palm (<i>Phonix dactylifera</i>). Fonte Wikipedia	161
Figura 188 Queen Palm (<i>Syagrus romanzoffiana</i>). Fonte Wikipedia.....	161
Figura 189 Beach soccer[29]	162
Figura 190 Campo da beach- volley [30]	163
Figura 191 EWA Technology. Scheda tecnica.....	169
Figura 192 Consumo di acqua giornaliero	170
Figura 193 Fabbisogno idrico del campus	171
Figura 194 Velocità media del vento annuale [m/s].....	171
Figura 195 Radiazione solare annuale 2015 [kWh/m ²].....	172
Figura 196 Torre del vento di Masdar. Sezione	172
Figura 197 Torre solare a Kaust, Arabia Saudita.....	173
Figura 198 Mattoni in sabbia prodotti dalla TIS&Partners [32].....	174
Figura 199 Mattoni in sabbia SIOPLAST	174
Figura 200 Mattoni in sabbia della dottoressa Krieg.....	175
Figura 201 Pianta del Masterplan utilizzata per la prima simulazione con CitySim.....	176
Figura 202 Prima simulazione. Fabbisogno energetico per il raffrescamento [kWh/m ²]. Simulazione A (bu) e B (rosso)	183
Figura 203 Prima simulazione. Fabbisogno energetico per il raffrescamento [MWh].....	184
Figura 204 Masterplan. Radiazione solare annuale. Vista da Sud. Valore Massimo 2015 [kWh/m ²]	185
Figura 205 Masterplan. Radiazione solare annuale. Vista da Nord. Valore Massimo 2015 [kWh/m ²].....	185
Figura 206 Masterplan. Radiazione solare annuale. Vista da Est. Valore Massimo 2015 [kWh/m ²].....	185
Figura 207 Masterplan. Radiazione solare annuale. Vista da Ovest. Valore Massimo 2015 [kWh/m ²].....	186

Figura 208 Masterplan. Radiazione solare mensile: marzo. Valore Massimo 170 [kWh/m ²]	186
Figura 209 Masterplan. Radiazione solare mensile: giugno. Valore Massimo 213 [kWh/m ²]	186
Figura 210 Masterplan. Radiazione solare mensile: settembre. Valore Massimo 174 [kWh/m ²]	187
Figura 211 Masterplan. Radiazione solare mensile: dicembre. Valore Massimo 138 [kWh/m ²]	187
Figura 212 Masterplan. Radiazione solare giornaliera: 21 giugno. Valore Massimo 7.4 [kWh/m ²]	187
Figura 213 Masterplan. Radiazione solare giornaliera: 21 dicembre. Valore Massimo 1.9 [kWh/m ²]	188
Figura 214 Edificio n.2 senza il passaggio interno. Radiazione solare annuale	188
Figura 215 Edificio n.2 con il passaggio interno. Radiazione solare annuale	189
Figura 216 Edificio n.15. Radiazione solare annuale	189
Figura 217 Modello CitySim. In azzurro gli atrium, in arancione i passaggi	190
Figura 218 Terza simulazione. Fabbisogno energetico per il raffrescamento [kWh/m ²].	193
Figura 219 Terza simulazione. Fabbisogno energetico per il raffrescamento [MWh].	194
Figura 220 Ashrae. Scheda tecnica auditorium	195
Figura 221 Ashrae. Scheda tecnica residenza	195
Figura 222 Ashrae. Scheda tecnica libreria	196
Figura 223 Ashrae. Scheda tecnica palestra	196
Figura 224 Ashrae. Scheda tecnica ristorante	196
Figura 225 Ashrae. Scheda tecnica ufficio	197
Figura 226 Ashrae. Scheda tecnica università	197
Figura 227 Auditorium. Profilo di occupazione delle persone nei giorni feriali	199
Figura 228 Auditorium. Profilo di occupazione dei macchinari nei giorni feriali	200
Figura 229 Auditorium. Profilo di occupazione normalizzato degli occupanti e macchinari nei giorni feriali	201
Figura 230 Auditorium. Profilo di occupazione normalizzato degli occupanti e macchinari nei giorni feriali	201
Figura 231 Auditorium. Profilo di occupazione normalizzato degli occupanti e macchinari nei giorni festivi	202
Figura 232 Palestra. Profilo di occupazione normalizzato degli occupanti e macchinari nei giorni feriali	202
Figura 233 Palestra. Profilo di occupazione normalizzato degli occupanti e macchinari nei giorni festivi	202
Figura 234 Libreria. Profilo di occupazione normalizzato degli occupanti e macchinari nei giorni feriali	203
Figura 235 Libreria. Profilo di occupazione normalizzato degli occupanti e macchinari nei giorni festivi	203
Figura 236 Ufficio. Profilo di occupazione normalizzato degli occupanti e macchinari nei giorni feriali	203
Figura 237 Ufficio. Profilo di occupazione normalizzato degli occupanti e macchinari nei giorni festivi	204
Figura 238 Residenza. Profilo di occupazione normalizzato degli occupanti e macchinari nei giorni feriali	204

Figura 239 Residenza. Profilo di occupazione normalizzato degli occupanti e macchinari nei giorni festivi.....	204
Figura 240 Ristorante. Profilo di occupazione normalizzato degli occupanti e macchinari nei giorni feriali.....	205
Figura 241 Ristorante. Profilo di occupazione normalizzato degli occupanti e macchinari nei giorni festivi.....	205
Figura 242 Università. Profilo di occupazione normalizzato degli occupanti e macchinari nei giorni feriali.....	205
Figura 243 Università. Profilo di occupazione normalizzato degli occupanti e macchinari nei giorni festivi.....	206
Figura 244 Quarta simulazione. Fabbisogno energetico per il raffrescamento [kWh/m ²].	212
Figura 245 Quarta simulazione. Fabbisogno energetico per il raffrescamento [MWh].....	213
Figura 246 Quarta simulazione. Fabbisogno energetico per il raffrescamento [kWh/m ²].	214
Figura 247 Ventilazione naturale annuale.....	215
Figura 248 Ventilazione naturale oraria del 2 gennaio.	215
Figura 249 Simulazione finale.....	216

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

1. Ragette, F., *Traditional Domestic Architecture of the Arab Region*, ed. E.A. Menges. 2006, Sharjah
2. L. Bernstein, P.B., O. Canziani, Z. Chen, R. Christ, O. Davidson, W. Hare and others, *Climate Change 2007. Synthesis Report. An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Plenary XXVII (Valencia, Spain, 12-17 November 2007)*. 2007.
3. Liébard, A. and A.D. Herde, *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques*, ed. Observ'ER. 2005, Paris.
4. Murad, A.A., H.A. Nuaimi, and M.A. Hammadi (2007) *Comprehensive Assessment of Water Resources in the United Arab Emirates (UAE)*. *Water Resour Manage* **21**, 1449- 1463.
5. Böer, B. (1997) *An introduction to the climate of the United Arab Emirates*. *Journal of arid environments* **35**, 3-16.
6. WWF. *Eco-region*. 2012; Available from: <http://www.worldwildlife.org/science/wildfinder/>.
7. Alghamdi, A.A.A. and M. Akyurt (2001) *On sandstorms and energy recovery from sandstorms*. *Energy Conversion & Management* **42**, 1143- 1156.
8. Education, I. *Dunes*. Available from: <http://www.indiana.edu/~geol116/Week11/wk11.htm>.
9. Goudie, A.S., et al. (2000) *Desert loess in Ras al Khaimah, United Arab Emirates*. *Journal of arid environments* **46**, 123- 135.
10. Rizk, Z.S. and A.S. Alsharhan *Water Resources in the United Arab Emirates*.
11. Sheppard, C., M.A. Husiani, and a. Others (2010) *The Gulf: A young sea in decline*. *Marine Pollution Bulletin* **60**, 13- 38.
12. Glasze, G. and A. Alkhayyal (2002) *Gated housing estates in the Arab world: case studies in Lebanon and Riyadh, Saudi Arabia*. *Environment and Planning B: Planning and Design* **29**, 321- 336.
13. Saleh, M.A.E. (1998) *The impact of Islamic and Customary Laws on Urban form Development in Southwestern Saudi Arabia*. *Habitat International* **22**, 537- 556.
14. Pulselli, R.M., C. Ratti, and E. Tiezzi (2006) *City out of Chaos: Social Patterns and Organization in Urban Systems*. *International journal of Ecodynamics* **1**, 125- 134.
15. *Real time*. Available from: <http://realtime.waag.org/>.
16. C.Ratti, et al. (2006) *Mobile Landscapes: using location data from cell phones for urban analysis*. *Environment and Planning B: Planning and Design* **33**, 727- 748.
17. Taleghani, M., K.T. Behboud, and S. Heidari (2010) *Energy efficient architectural design strategies in hot dry area of Iran: Kashan*. **2**, 85- 91.
18. Givoni, B., *Man, climate and Architecture*. 1969, Amsterdam- London- New York: Elsevier Publishing Company Limited.
19. Givoni, B., *Climate considerations in Building and Urban Design*, ed. I.T. Publishing. 1998.
20. AboulNaga, M.M. and Y.H. Elsheshtawy (2001) *Environmental sustainability assessment of buildings in hot climates: the case of UAE*. *Renewable Energy* **24**, pp 553- 563.
21. *Minergie*. Available from: http://www.minergie.ch/minergie_it.html.
22. Papadopoulou, M., *MINERGIE Standard for office buildings in the climate of Ras Al Khaimah. Draft*. 2011.
23. *RAK Masterplan*. Available from: <http://www.rak-ia.com>.

24. Penwarden, A.D. (1973) *Acceptable wind speeds in towns*. Building Science **8**, 259-267.
25. Ghiaus, C. and F. Allard, *Natural ventilation in the Urban Environment. Assesment and Design*, ed. Earthscan. 2005, Bath
26. Pearlmutter, D., P. berliner, and E. Shaviv (2006) *Physical modeling of pedestrian energy exchange within the urban canopy*. Building and envirnoment. Building and envirnoment **41**, 783-795.
27. Johansson, E. (2006) *Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Marocco*. Building and envirnoment **41**, 1326- 1338.
28. Stathopoulos, T., H. Wu, and J. Zacharias (2004) *Outdoor human comfort in a urban climate*. Building and Envirnoment **39**, 297-305.
29. FIFA, *Beach soccer. Laws of the game*. 2006.
30. Volleyball.ch. *Beach- Sportanlagen*.
31. Gleick, P.H. (1996) *Basic water requirements for human Activities: meeting basic needs*. Water International, 83- 92.
32. *Inhabitat. Design will save the world*. Available from: <http://inhabitat.com>.
33. Awbi, H.B., *Ventilation of buildings*, ed. E.F. SPON. 1991, Bungay UK.