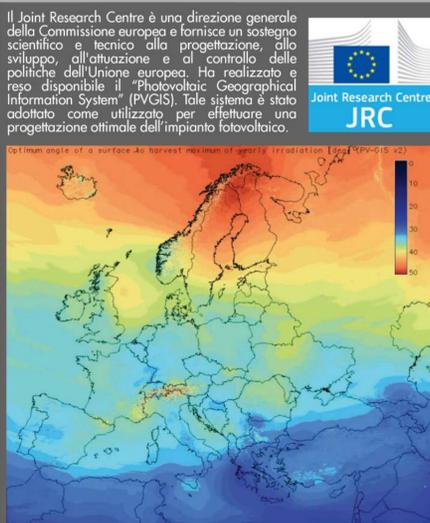


DOCUMENTAZIONE PVGIS



In alto: inclinazione ottimale per il massimo rendimento annuo in base alla località; il grafico evidenzia come per la località di roma l'inclinazione ottimale sia di 30°.



In alto e in basso: confronto fra il potenziale elettrico di moduli fotovoltaici orizzontali (paralleli alla copertura) e moduli fotovoltaici orientati e inclinati in maniera ottimale. Come si evince dal loro confronto l'inclinazione influenza in maniera non trascurabile i kWh/anno e tale differenza è stata tenuta in considerazione nella redazione della proposta progettuale. Si è quindi optato per la soluzione con pannelli inclinati e orientati in maniera ottimale a discapito della soluzione con pannelli orizzontali per fattori analizzati in dettaglio nel confronto fra le due proposte progettuali.



In basso: In questa tabella è rappresentata la produzione annua stimata di moduli fotovoltaici per la località di Roma in relazione all'angolo di orientamento nord-sud, o Azimut, (dove: zero è il sud e +90 gradi è l'est) ed all'angolo di inclinazione (Tilt) dei moduli rispetto al suolo. La tabella evidenzia l'orientamento e l'inclinazione ottimali per la città di Roma: angolo azimutale 0° (Sud) angolo di tilt 30°

Tilt	Est												
	-90°	-75°	-60°	-45°	-30°	-15°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
90°	574	646	705	750	781	796	802	806	800	775	731	671	598
60°	673	751	818	872	912	925	945	945	931	896	844	776	696
30°	764	846	918	977	1020	1050	1060	1060	1040	1000	942	871	787
0°	846	928	1000	1060	1110	1140	1150	1150	1120	1080	1020	951	867
10°	917	995	1060	1120	1170	1200	1210	1210	1180	1140	1080	1020	936
20°	975	1050	1110	1160	1210	1230	1240	1240	1220	1180	1130	1060	991
30°	1020	1080	1130	1180	1220	1240	1240	1240	1230	1190	1150	1100	1030
40°	1060	1100	1140	1180	1200	1220	1230	1230	1220	1210	1190	1150	1070
50°	1090	1110	1130	1150	1160	1170	1180	1180	1170	1150	1140	1120	1090
60°	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100

IMPIANTO FOTOVOLTAICO

COME FUNZIONA L'IMPIANTO FOTOVOLTAICO?

L'impianto fotovoltaico è un impianto elettrico costituito dall'assemblaggio di più moduli fotovoltaici, che sfruttano l'energia solare incidente e la convertono in energia elettrica continua tramite l'effetto fotovoltaico

SCHEMA FUNZIONAMENTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI TIPO GRID-CONNECTED



il funzionamento dell'impianto fotovoltaico è il seguente:

MODULO FOTOVOLTAICO: l'energia solare viene catturata dai moduli fotovoltaici, che la trasformano in corrente continua. La conversione della radiazione solare in energia elettrica (effetto fotoelettrico) avviene all'interno della cella fotovoltaica, costituita da un sottile strato di materiale semi conduttore.

INVERTER SOLARE: La corrente elettrica continua viene convogliata attraverso un circuito elettrico verso un inverter solare che la trasforma in corrente alternata.

CONTATORE DI PRODUZIONE: La corrente alternata in uscita dall'inverter attraverso un primo contatore, chiamato contatore di produzione, che misura l'energia totale prodotta dall'impianto.

QUADRO ELETTRICO E UTENZE: collegato al contatore di produzione vi è il quadro elettrico, da cui si può prelevare l'energia gratuita per alimentare tutti i dispositivi del nostro edificio e le pompe di calore poste in copertura e massimizzare così i benefici economici.

SMART GRID ELETTRICA: La scelta di connettere l'impianto fotovoltaico alla Smart Grid elettrica della Sapienza, piuttosto che alla rete nazionale, scaturisce da una volontà di **adottare un sistema di generazione, trasmissione e distribuzione "orizzontale"**. Si predilige una logica di produzione locale, superando così i limiti del sistema attuale (unidirezionalità del sistema, consumatori non in grado di interagire con i decisori). Il sistema elettrico italiano sta evolvendo verso un mix di generazione più decentralizzato e caratterizzato da una minore prevedibilità e controllabilità; per abilitare l'integrazione su larga scala delle energie rinnovabili, è necessario che sia fornita una maggiore flessibilità dal lato della domanda attraverso l'introduzione di una nuova figura di prosumer (consumatore/produttore), che aggregando consumi elettrici diversi possa fornire al sistema flessibilità. La Sapienza, in virtù dei suoi rilevanti consumi energetici deve essere parte attiva in questo processo, iniziato nel 2007 con il progetto "isole energetiche", consolidando il proprio ruolo di prosumer e di aggregatore di utenze tramite la promozione di una smart grid con una generazione di energia pulita e diversificata.

I VANTAGGI DEL FOTOVOLTAICO:

- Incremento della quota parte di fonti rinnovabili dell'edificio
- Copertura parziale del fabbisogno energetico dell'edificio
- Riduzione delle emissioni di CO₂ con conseguente salvaguardia dell'ambiente
- Tempo di ritorno dell'investimento relativamente breve (circa 8 anni)
- Costi di manutenzione contenuti
- Tempo di vita utile dell'impianto di oltre 25 anni

MODULO FOTOVOLTAICO

Suntech Hypro 300

Caratteristiche

- Potenza nominale: 300W
- Tolleranza di potenza: +4/-0%
- Efficienza media del modulo: 18,4%
- Temperatura di utilizzo: -45°/+90°
- Aspetto: Classe A
- Cella solare: 96 celle monocristalline
- Vetro: Vetro temprato da 3.2 mm
- Cornice: alluminio anodizzato

Vantaggi

Il modulo fotovoltaico scelto, Suntech Hypro 300 W, fornisce la miglior efficienza e prestazione sul mercato. Utilizzando le sue 96 celle solari Hypro, il modulo fornisce un'efficienza di conversione totale del 19,4%. Questo modulo, grazie alla sua alta efficienza è ideale per produrre la massima quantità di energia anche in presenza di ombreggiamento parziale o elevate temperature in copertura. Il modulo ha una vita di 25-30 anni in cui l'efficienza non scende sotto l'85%.

SOLUZIONE SCARTATA (PANNELLI ORIZZONTALI)

In sede di progettazione, è stata vagliata anche l'ipotesi di disporre i moduli fotovoltaici parallelamente alla copertura (angolo di tilt 0°). In questa maniera, a discapito di una producibilità del singolo pannello più bassa (1,16 kWh/kWp) si massimizza la superficie impiegabile e quindi il numero di pannelli installabili a parità di superficie. Ciò è possibile in quanto essendo i pannelli orizzontali, il fenomeno dell'auto ombreggiamento è assente ed è sufficiente lasciare tra una fila e l'altra una distanza minima per la manutenzione. In questo modo si possono applicare sulla copertura dell'edificio ben 669 pannelli (contro i 388 della soluzione con pannelli inclinati), per una potenza totale di 200,7 kWp. La debolezza di tale soluzione progettuale è da localizzare nei costi: installare 669 pannelli ha un costo di circa 360'000 € (ipotizzando un costo di circa 1800-2000 € per kWp installato, considerando già le detrazioni fiscali disponibili). Tale soluzione è stata quindi scartata a favore di quella con pannelli inclinati e orientati in maniera ottimale, più efficiente e con un ritorno economico più breve.

PERFORMANCE IMPIANTO FOTOVOLTAICO

- numero di moduli: 669 orizzontali
- kWp del singolo modulo: 300 W
- kWp totale dell'impianto: 200,7 kW
- Costo di installazione: 361'260 €
- Producibilità del modulo: 1,16 kWh/kWp
- Produzione kWh annui: 232'812
- Risparmi annui: 41'906 €
- Tempo di ritorno economico: 8 anni e 7 mesi



PROSPETTO 1:300



PIANTA COPERTURA 1:300



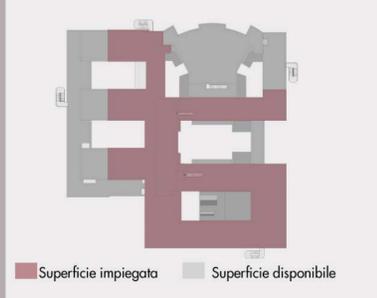
SOLUZIONE ADOTTATA (PANNELLI INCLINATI)

PROPOSTA PROGETTUALE

Viene proposta l'installazione di un impianto fotovoltaico in copertura, elemento di poco pregio, con il fine di raggiungere diversi obiettivi:

- 1) Ridurre il consumo di combustibili fossili, e di conseguenza di contribuire alla salvaguardia dell'ambiente.
- 2) Coprire parzialmente il fabbisogno energetico dell'edificio
- 3) Aumentare la quotaparte di energie da fonti rinnovabili

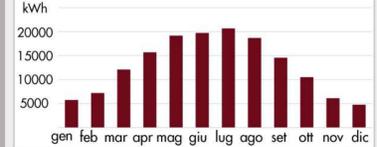
L'installazione dell'impianto fotovoltaico ha un'ottima sinergia con la proposta di adozione di sorgenti luminose LED, le quali richiedono correnti talmente ridotte da poter essere alimentate con energie rinnovabili. In sede di progettazione sono state studiate due ipotesi per l'impianto fotovoltaico, che si differenziano per l'inclinazione e orientamento dei pannelli. In entrambi le soluzioni si è deciso di utilizzare solo la copertura del terzo e del quarto livello, lasciando la copertura del secondo livello disponibile per altri utilizzi o interventi futuri.



VANTAGGI DELL'IMPIANTO

I moduli fotovoltaici vengono orientati e inclinati in maniera ottimale per la città di Roma: angolo azimutale 0° (Sud), angolo di tilt 30° (angolo di inclinazione verticale). Tale scelta permette di massimizzare la producibilità del singolo modulo fotovoltaico (rapporto kWh/kWp=1,34). Massimizzare la producibilità del modulo permette di sfruttare al massimo l'impianto fotovoltaico, con benefici a livello economico e tempi di ritorno più brevi. In sede di progettazione si è valutata anche l'ipotesi con pannelli paralleli alla copertura (analizzata nella specifica nella parte sinistra della tavola); tale situazione, a discapito di una producibilità più bassa permette di inserire più pannelli nello stesso spazio, ottenendo così una potenza installata maggiore. Si è optato per la soluzione che meglio sfrutta l'impianto e più facilmente sostenibile a livello economico.

PRODUZIONE ANNUALE DI ENERGIA ELETTRICA

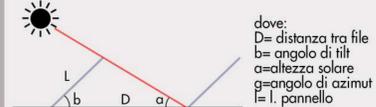


CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO

- Numero di moduli installati: 388 inclinati
- kWp del singolo modulo: 300 W
- kWp totale dell'impianto: 116,4 kW
- Costo di installazione: 209'520 €
- Producibilità del modulo: 1,34 kWh/kWp
- Produzione kWh annui: 155'976
- Risparmi annui: 28'075€
- Tempo di ritorno economico: 7 anni e 5 mesi

CALCOLO DELLA DISTANZA MINIMA FRA MODULI

Nel posizionamento dei moduli su diverse file si è tenuto conto del fenomeno di **auto-ombreggiamento**. E' stata quindi calcolata la distanza minima fra file secondo la formula:

$$D = L \cos(\beta) + [L \sin(\beta) \cos(\gamma) / \tan(\alpha)]$$


ottenendo una distanza minima fra file di pannelli D=1,30 m, si è quindi proseguito nel posizionamento adottando l'inclinazione e l'orientamento ottimali relativi alla città di Roma (31° di inclinazione e orientamento a SUD). La disposizione adottata è quindi il risultato del rispetto dell'inclinazione ottimale, dell'orientamento ottimale e della distanza minima tra file di moduli. Il risultato è quindi la disposizione di 388 pannelli con producibilità kWh/kWp ottimale di 1,34.

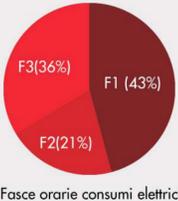
RISULTATI DELL'INTERVENTO

- Elettricità generata ogni anno: **155'093 kWh**
- Ore totali di luce generata all'anno: **1'372 ore**
- Emissioni di CO₂ evitate all'anno: **103,912 Kg CO₂**
- Barili di petrolio risparmiati: **92 barili**

IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE

STATO ATTUALE:

Le criticità maggiori dal punto di vista dei consumi elettrici sono da individuare nell'impianto di illuminazione: esso è privo di qualsiasi automazione e le lampade sono obsolete (vecchie lampade tradizionali con consumi molto alti e basse prestazioni). Il grafico della ripartizione dei consumi elettrici in fasce orarie evidenzia un consumo F3 anomalo (ore notturne, domenica e festivi). Per ridurre i consumi energetici dell'edificio è necessaria riqualificazione degli impianti di illuminazione.



Le sorgenti luminose attualmente presenti nell'edificio sono di due tipi: fluorescenti e alogene ad incandescenza e sono distribuite nell'edificio secondo la seguente suddivisione:

Sorgenti luminose	alogeno	fluorescenti	totali per piano
Piano terra	28	392	420
Piano primo	43	307	350
Piano secondo	9	285	294
Piano terzo	0	192	192
Totale	80	1176	1256

a sinistra: distribuzione attuale delle sorgenti luminose dell'edificio; vi è una prevalenza di lampade fluorescenti, dalle mediocri prestazioni, ma persiste un numero non trascurabile di obsolete lampade alogene ad incandescenza.

PROPOSTA PROGETTUALE:

Viene proposta la sostituzione delle attuali sorgenti luminose, (lampade fluorescenti e obsolete lampade a incandescenza, con consumi alti e prestazioni molto basse), con le più performanti lampade a LED. In più si propone l'adozione di un sistema di automazione BAC (building automation control) dotato di sensori di presenza, utile a disattivare utenze trascurate e limitare così i consumi, adottato un profilo orario di accensione delle sorgenti più consoni all'utilizzo effettivo della facoltà.

I VANTAGGI DEL LED:

- **Risparmio energetico:** A uguale potenza assorbita, il LED genera un flusso luminoso di circa 5 volte superiore rispetto alle lampade a incandescenza e alogene.
- **Minimo sviluppo di calore:** L'efficienza elevata della tecnologia LED dipende dal fatto che solo una minima parte dell'energia assorbita viene dissipata in forma di calore. Le lampade LED restano fredde anche dopo molte ore di funzionamento, a differenza delle lampade a incandescenza e fluorescenti.
- **Funzionamento in bassa potenza:** Uno dei principali vantaggi LED risiede nel fatto che per funzionare esse richiedono correnti talmente ridotte da poter essere alimentate con energie rinnovabili, come l'impianto fotovoltaico inserito in copertura. Questo rende i LED molto convenienti nell'illuminazione urbana e nella segnaletica stradale, abbassando i costi di gestione.
- **Maggiore durata di vita:** La durata di una lampada LED è stimata in 50mila ore per blu e bianco e in 10mila ore nel caso di LED monocromatici. Una differenza abissale rispetto alle 750 ore delle lampade a incandescenza e le 7500 ore delle lampade fluorescenti.
- **Minori costi di manutenzione:** La maggior durata di vita dei LED si traduce in costi di manutenzione più diluiti nel tempo.

STIMA DEI VANTAGGI ECONOMICI DEL LED:

Per valutare economicamente una lampadina va misurato il **Total Cost of Ownership (TCO)**, in italiano costo totale di proprietà, ovvero l'insieme dato da: 1) il tempo di vita della lampadina 2) il costo della lampadina, 3) la dissipazione totale

Calcolo del TCO per diverse tipologie di sorgenti luminose
Prendendo come lasso temporale di riferimento per lo studio comparativo la vita di una lampadina a LED (25'000 ore) si ha:

	LAMPADA ALOGENA AD INCANDESCENZA (Durata=2000 ore, costo= circa 2 €, dissipazione= 40 W) 25'000 ore x 40W = 1000 kWh Considerando il prezzo del kWh circa 0,18 € si ha: 1000 kWh x 0,18 €/kWh = 180 € Consumi + 13 lampadine= 180 + (2 x 13)= 206 €
	LAMPADA FLUORESCENTE (Durata=8000 ore, costo= circa 4,5 €, dissipazione= 14 W) 25'000 ore x 14W = 350 kWh Considerando il prezzo del kWh circa 0,18 € si ha: 350 kWh x 0,18 €/kWh = 63 € Consumi + 3 lampadine= 63 + (4,5 x 3)= 76,5 €
	LAMPADA A LED (Durata=25000 ore, costo= circa 15 €, dissipazione= 9 W) 25'000 ore x 9W = 225 kWh Considerando il prezzo del kWh circa 0,18 € si ha: 225 kWh x 0,18 €/kWh = 40,5 € Consumi + 3 lampadine= 40,5 + (15 x 1)= 55,5 €

Calcolato il TCO delle 3 diverse sorgenti si può stimare con precisione i risparmi derivanti dalla sostituzione delle attuali lampade con le più performanti lampade a LED:

1) **Stima dei costi attuali TCO_{LED}:** Tale stima è ottenibile moltiplicando il numero delle sorgenti attuali per il TCO corrispondente alla tipologia della sorgente.
Si avrà quindi: [(80 x 206€) + (1176 x 76,5€)] = **106444 €**

1) **Stima dei costi post-intervento TCO_{LED}:** Tale stima è ottenibile moltiplicando il numero delle sorgenti post-intervento per il TCO corrispondente alla tipologia LED.
Si avrà quindi: [1256 x 55,5 €] = **69708 €**

Dal confronto dei due valori TCO (attuale e post-intervento) risulta un risparmio del 36% sui consumi elettrici derivanti da illuminazione. Tale risparmio, estremamente alto, tiene in considerazione anche i costi di sostituzione delle lampade a LED essendo un raffronto fra i costi totali di proprietà e non fra i meri consumi. Tale risparmio non tiene in considerazione l'ulteriore risparmio che si otterrà adottando un sistema di automazione analizzato qui sotto.

SORGENTE LUMINOSA

Philips LEDtube T5 MASTER

Caratteristiche

- 1) Crea una calda atmosfera:
 - Luce bianca calda simile all'incandescenza (2700 K)
 - Elevata resa cromatica (CRI=80) per colori brillanti
- 2) Accensione immediata
 - Piena luminosità all'accensione
- 3) Una scelta sostenibile
 - Bassissimo consumo di energia
 - Durata fino a 20 anni
- 4) Classe Energetica
 - A+

Vantaggi

Philips LEDtube T5 MASTER offre un effetto di illuminazione naturale, simile a quella delle lampade ad incandescenza, ideale per l'uso nelle applicazioni di uso scolastico/universitario. E' quindi garantito il comfort visivo degli studenti nelle aule e allo stesso tempo ingenti riduzioni dei consumi elettrici della facoltà. Inoltre la Maggiore durata di vita di queste lampade (25'000 ore) permette di ridurre anche i costi di manutenzione, più sporadici e diluiti nel tempo.