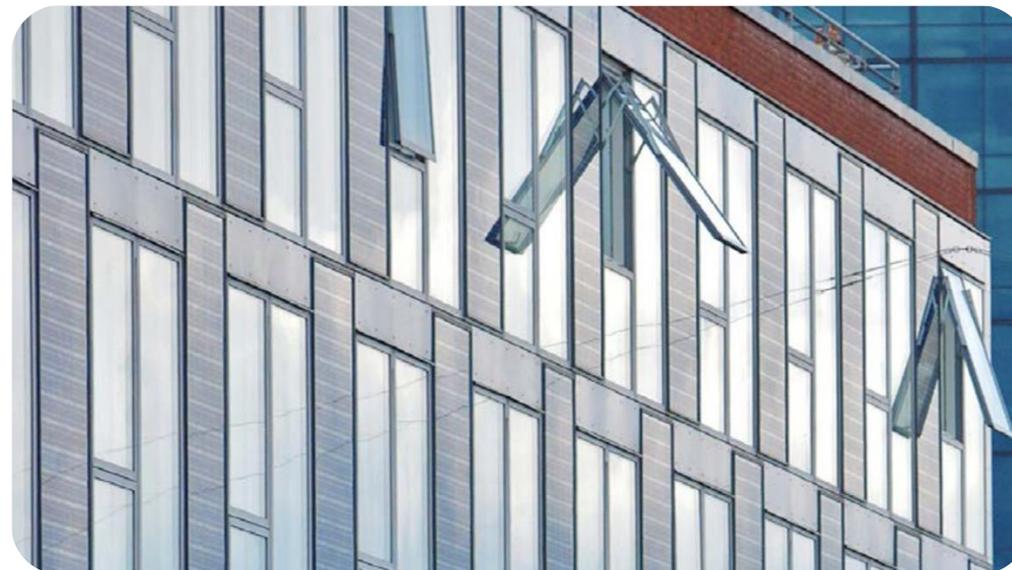


SUPSI

L'edificio come sistema energetico

Nuove sfide ed opportunità dell'energia rinnovabile

Prof. Dr. Francesco Frontini
Responsabile Settore Edificio
SUPSI-DACD-ISAAC



SUPSI-ISAAC Fotovoltaico e BIPV

Situati a Mendrisio con circa 55 dipendenti organizzati in quattro aree principali:

1) Sistema edificio, 2) PV-Lab, 3) Sistema energetico, 4) Sostenibilità energetica e territorio

- 1982: Primo impianto fotovoltaico connesso alla rete in Europa (TISO)
- 2004-oggi: **Centro di competenza svizzero BIPV**: team multidisciplinare orientato all'applicazione, diversi progetti fondati dall'UE Collaborazione con industrie, architetti e proprietari di edifici per il trasferimento sul mercato (da TRL4 a TRL8)
- Dal 2010 gestiamo le piattaforme www.bipv.ch e www.solarchitecture.ch per promuovere la costruzione di edifici solari.



SUPSI-ISAAC Fotovoltaico e BIPV

Situati a Mendrisio con circa 55 dipendenti organizzati in quattro aree principali:

1) Sistema edificio, 2) PV-Lab, 3) Sistema energetico, 4) Sostenibilità energetica e territorio

- 1982: Primo impianto fotovoltaico connesso alla rete in Europa (TISO)
- 2004-oggi: **Centro di competenza svizzero BIPV**: team multidisciplinare orientato all'applicazione, diversi progetti fondati dall'UE Collaborazione con industrie, architetti e proprietari di edifici per il trasferimento sul mercato (da TRL4 a TRL8)



Demonstration and applied research

Test & Qualification

New Technology

Sensitization and communication



PVLab

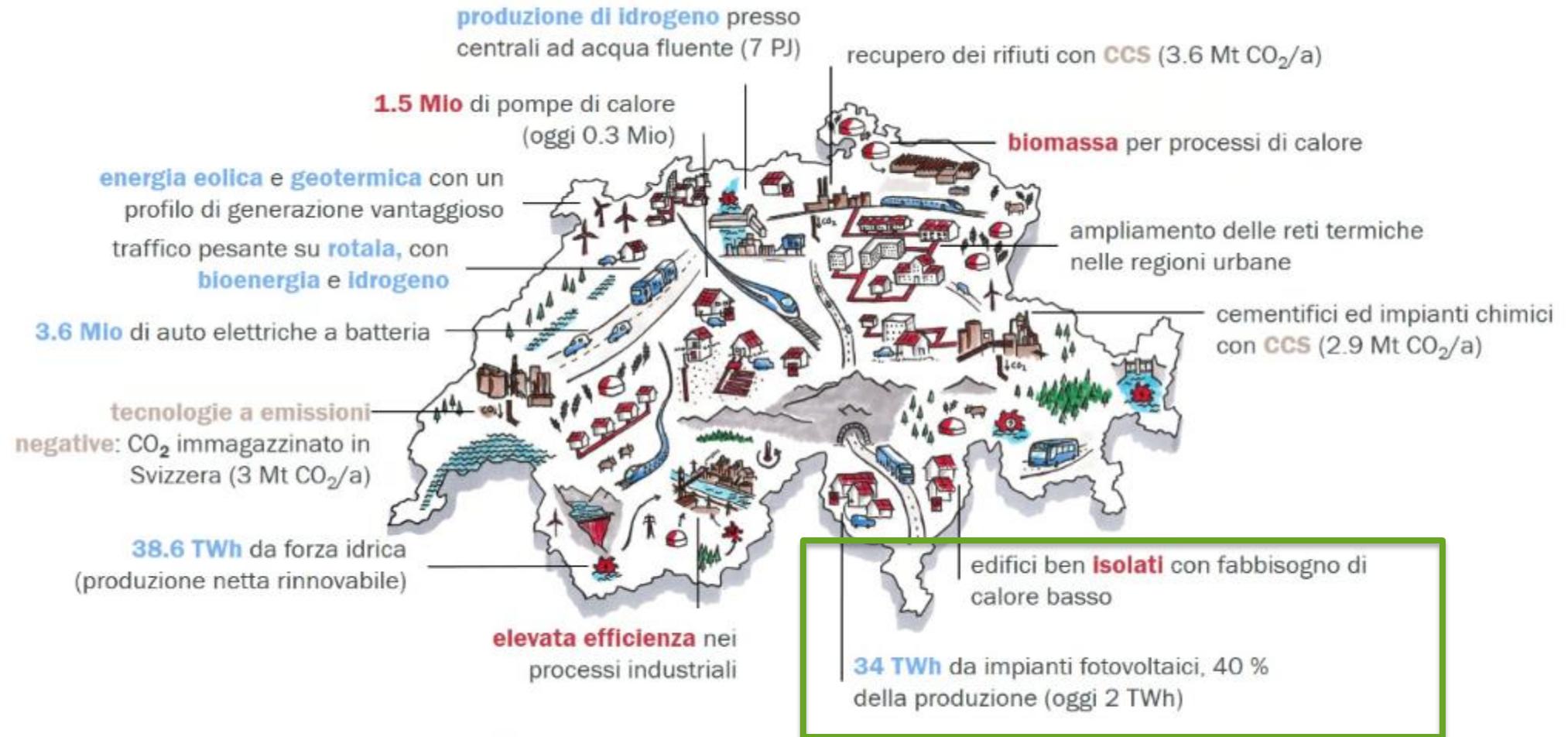


IPOTESI

- La decarbonizzazione degli edifici e delle città potrebbe essere la chiave per garantire un futuro sostenibile per il Ticino entro il 2050
- **L'integrazione delle energie rinnovabili**, l'ottimizzazione energetica insieme alla sufficienza nei materiali e degli spazi e il riuso possono essere pilastri fondamentali per la decarbonizzazione degli edifici nel Ticino entro il 2050?



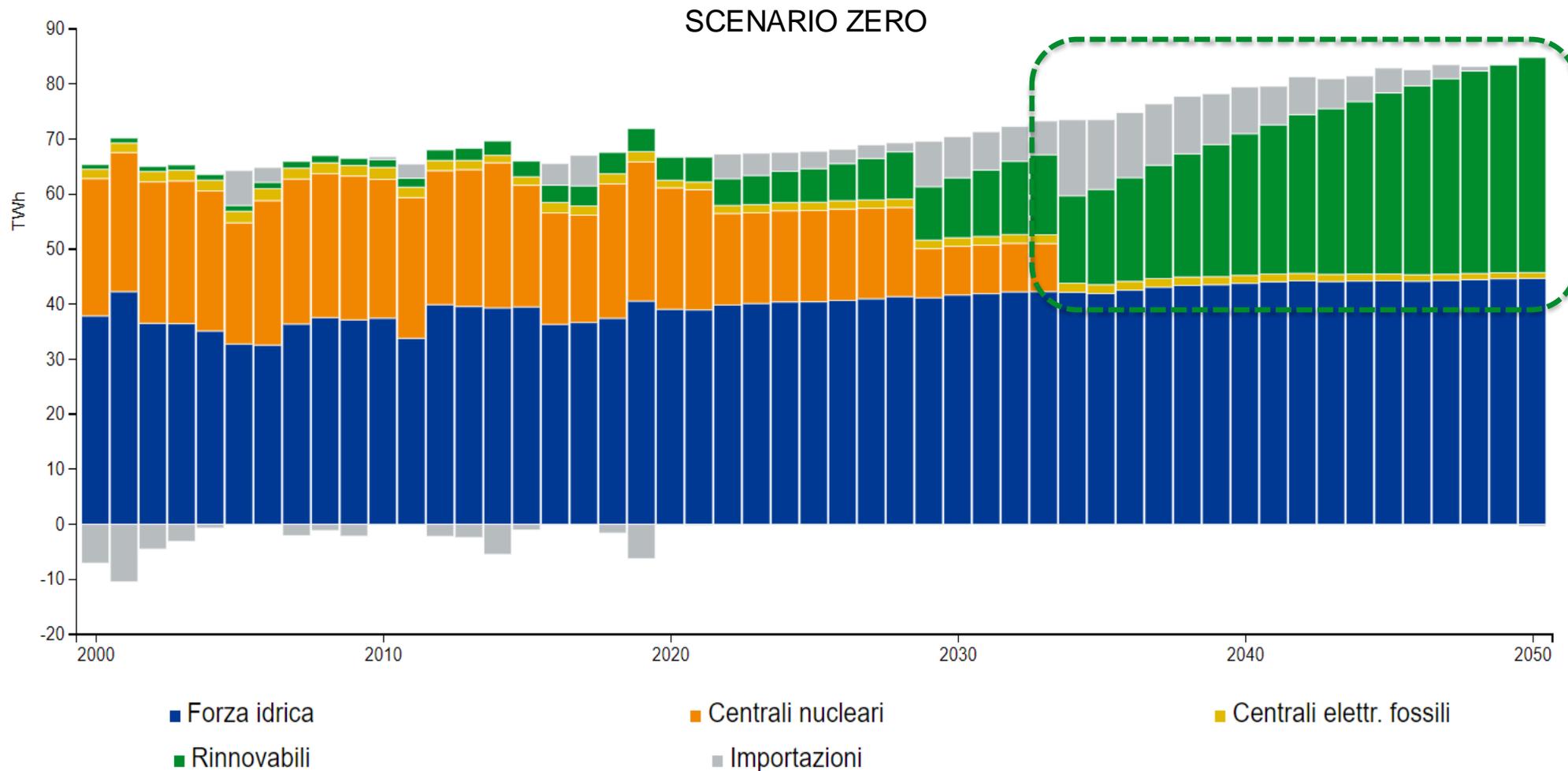
Prospettive energetiche 2050+: Saldo netto pari a zero



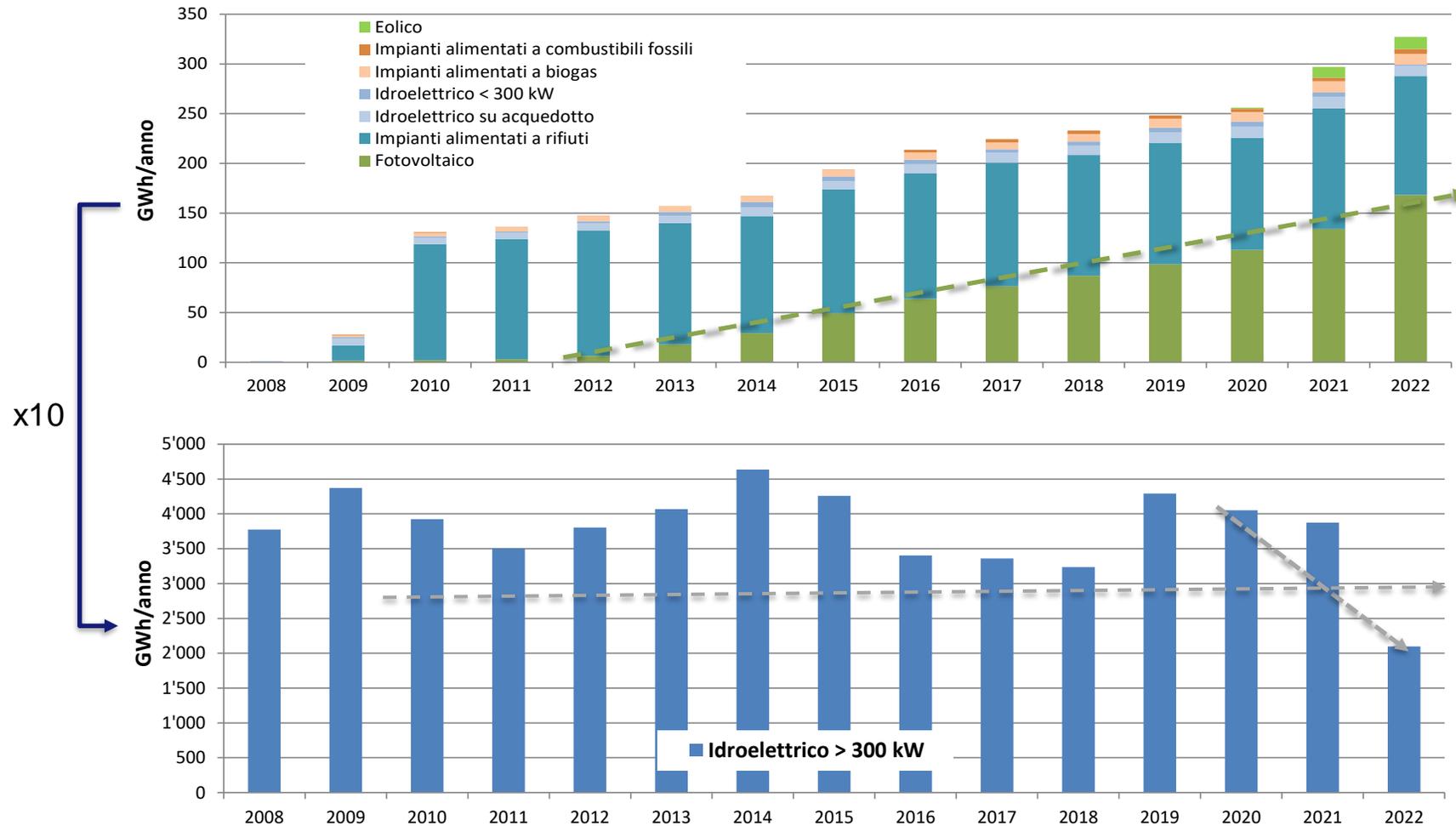
Grafik: Dina Tschumi; Prognos AG

https://www.uveg-gis.admin.ch/BFE/storymaps/AP_Energieperspektiven/index3.html?lang=it&selectedSzenario=ZB&selectedVariant=AJB&selectedNuclear=50

Prospettive energetiche 2050+: Saldo netto pari a zero



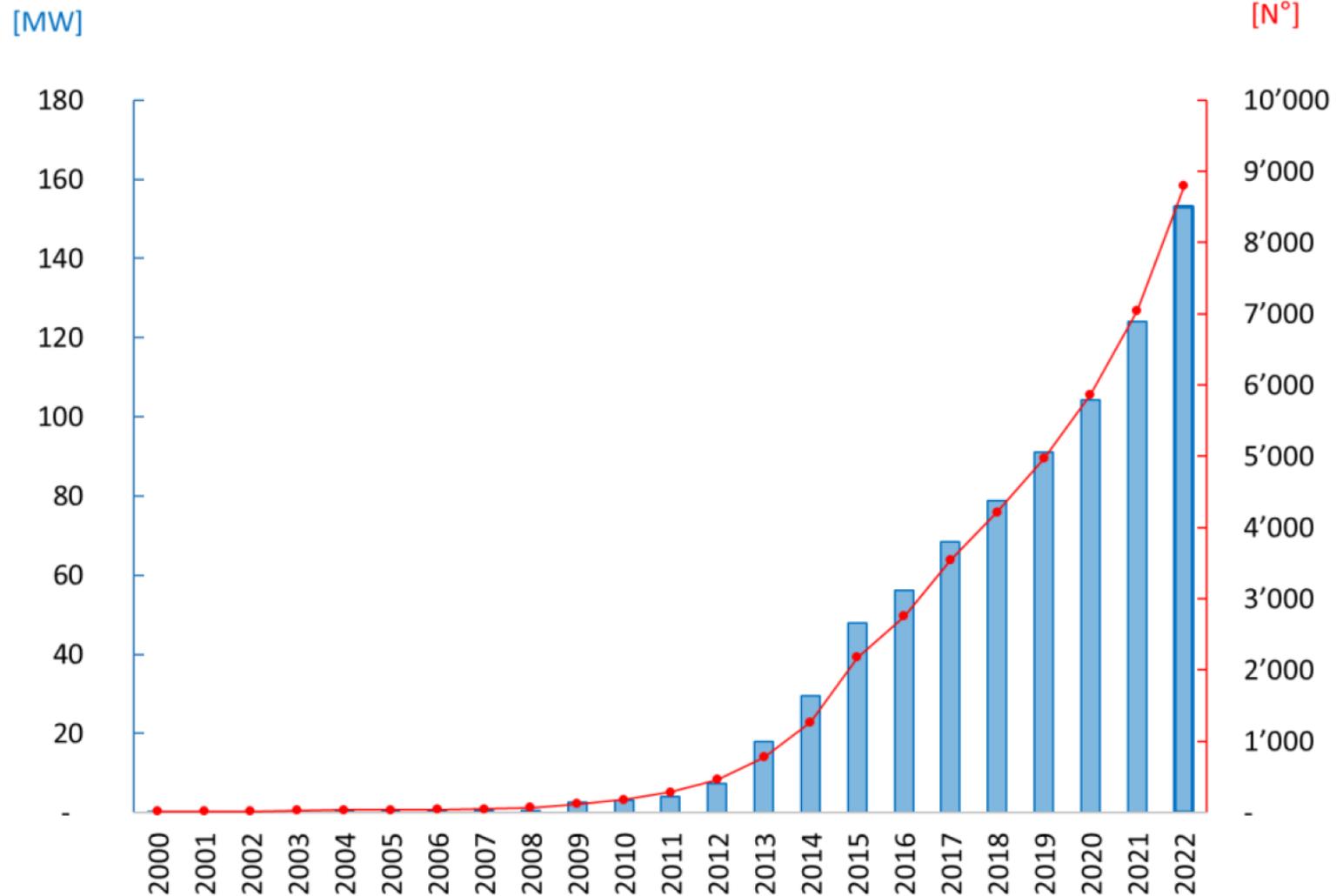
Produzione di energia elettrica in Ticino



Produzione di energia elettrica in Ticino: *Fotovoltaico*

Evoluzione degli impianti installati in Cantone Ticino dal 2000:

- per potenza (blu) e
- numero di impianti (rosso).

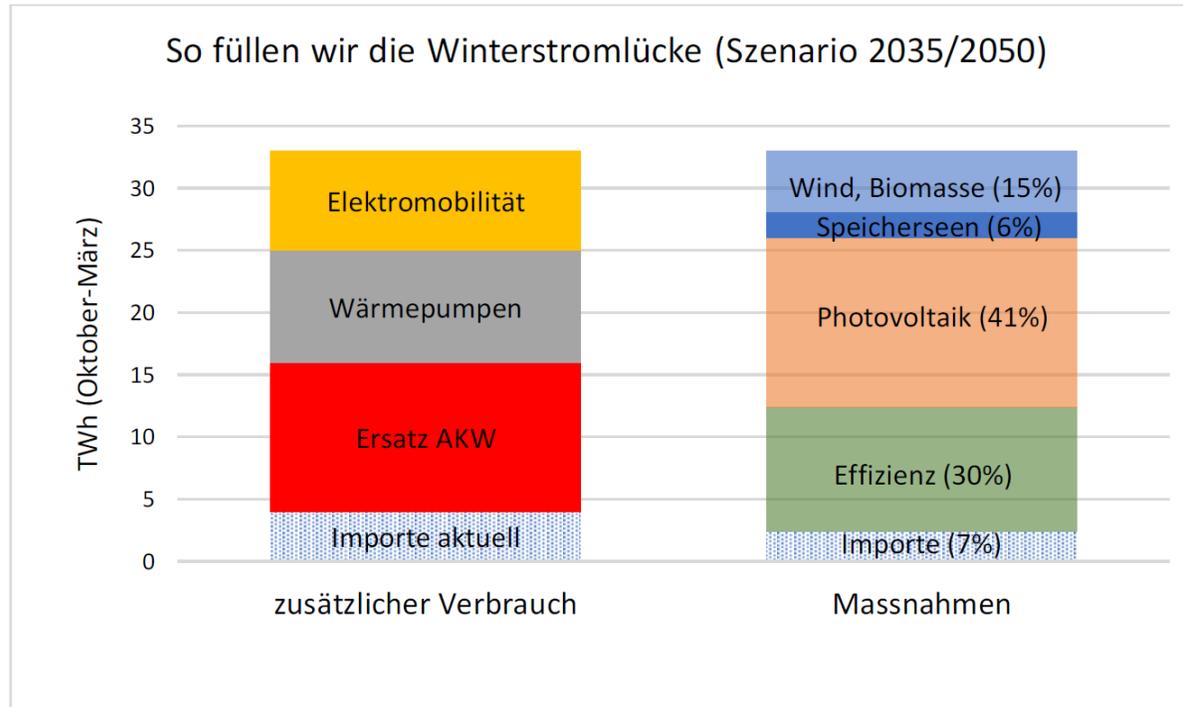


Produzione di energia elettrica in Ticino: *Fotovoltaico*

Classi [kW]	N° impianti a fine 2022	(%)	Potenza a fine 2022 [kW]	(%)
0-10	5'425	(61.7%)	37'643	(24.6%)
10-30	2'877	(32.7%)	45'319	(29.6%)
30-100	313	(3.5%)	16'921	(11.1%)
100-1000	174	(2.0%)	45'051	(29.4%)
>1000	6	(0.1%)	8'103	(5.3%)
Totali	8'795		153'037	

Dato cumulato degli impianti installati al 31.12.2022
e relative potenze, ripartite per classi di potenza

L'involucro dell'edificio come centrale elettrica - energia per la decarbonizzazione



La decarbonizzazione comporta:

- Una produzione aggiuntiva di circa 30TWh
- Compensazione attraverso le energie rinnovabili
- Misure di efficienza
- Riduzione della dipendenza
- **Energia rinnovabile in loco prima dell'energia rinnovabile off-site (compensazione)**



Involucro dell'edificio come centrale elettrica

Un potenziale enorme

Potenziale solare su edifici TI:

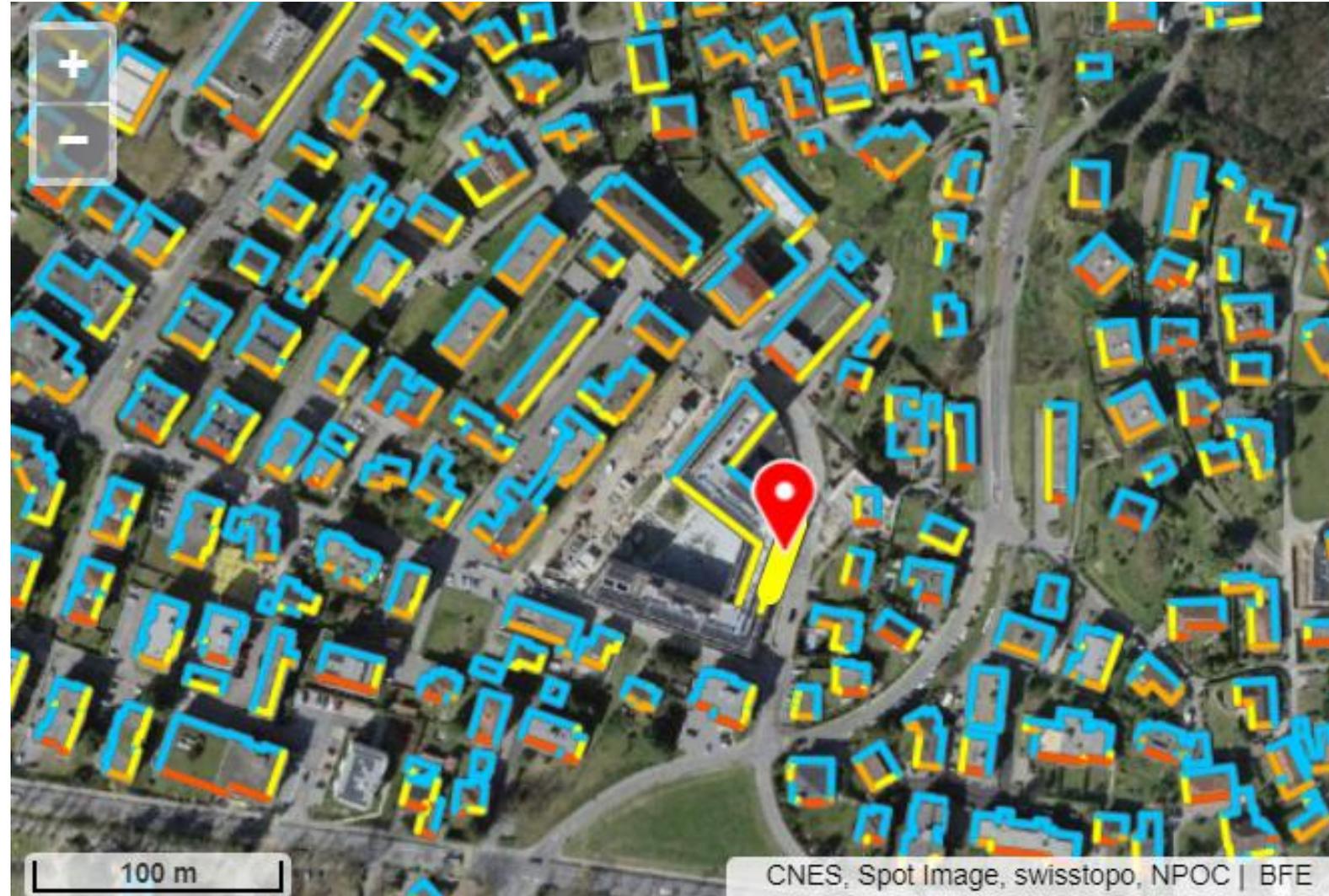
- 3,2-4,0 TWh/anno
- 1,5 TWh/a entro 2050 (PECC)

Fabbisogno elettricità TI:

- 3,2 TWh/anno (2022)

Installazioni FV in CH:

- 99% su edificio
- BIPV: 11% (1-3% in EU)
- E il restante 88%? Qualità????



Quadro normativo

Legge cantonale sull'energia (Len)¹

dell'8 febbraio 1994 (stato 1° febbraio 2024)

IL GRAN CONSIGLIO DELLA REPUBBLICA E CANTONE TICINO

Esigenze concernenti la copertura del fabbisogno di energia nei nuovi edifici

Art. 10³⁶ 1I nuovi edifici devono essere costruiti ed equipaggiati in modo che l'energia da fonti non rinnovabili copra al massimo il 70% dello specifico fabbisogno di riferimento di energia.

2I nuovi edifici devono dotarsi della necessaria impiantistica per produrre una parte di energia elettrica a copertura del proprio fabbisogno tramite l'impiego di fonti rinnovabili. L'impianto di produzione di energia elettrica deve avere almeno una potenza di 10 W per m² di nuova superficie di riferimento energetico.

Regolamento sull'utilizzazione dell'energia (RUEn)

del 15 marzo 2023 (stato 1° gennaio 2024)

IL CONSIGLIO DI STATO DELLA REPUBBLICA E CANTONE TICINO

Produzione autonoma di energia elettrica negli edifici nuovi

Art. 14 1Gli edifici nuovi, gli ampliamenti e le trasformazioni assimilabili a delle costruzioni a nuovo di edifici esistenti devono produrre una parte di energia elettrica tramite l'impiego di fonti rinnovabili. L'impianto di produzione di energia elettrica deve avere almeno una potenza di 10 W per m² di nuova superficie di riferimento energetico, sebbene non sia mai richiesta una potenza di 30 kW o superiore.

Obbligo di sfruttamento dell'energia solare

Art. 36 1Fino al 31 dicembre 2025, i tetti o le facciate degli edifici nuovi con una superficie determinante superiore a 300 m² vanno dotati di impianti solari, in particolare fotovoltaici o termici.

2Per superficie determinante si intende la proiezione sul piano orizzontale dell'ingombro dell'edificio.

3L'impianto solare deve essere di dimensioni tali da coprire una superficie pari al 50% della superficie determinante.

Legge federale sull'energia (LEne)



del 30 settembre 2016 (Stato 1° febbraio 2024)

Allegato 7

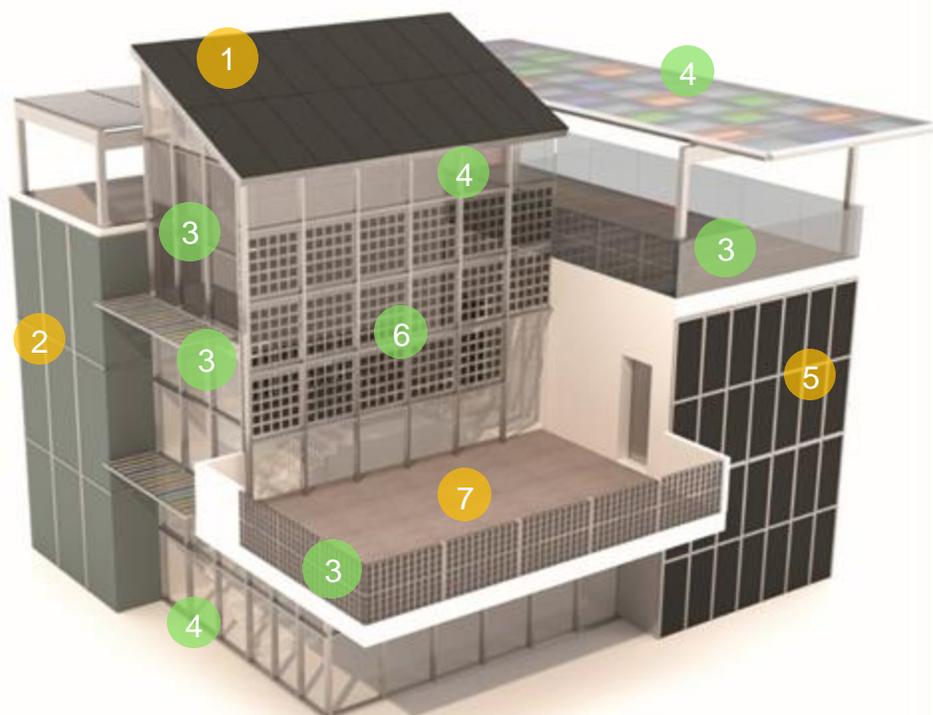
Soluzioni standard per la sostituzione di un generatore di calore in edifici abitativi

(art. 29 cpv. 2 RUEn)

- SS 7: Pompa di calore per la produzione di acqua calda sanitaria e impianto fotovoltaico:
- scaldacqua alimentato da pompa di calore e impianto fotovoltaico con una potenza installata di almeno 5 Wp per m² di AE.

Soluzioni per impianti fotovoltaici integrati nell'edificio

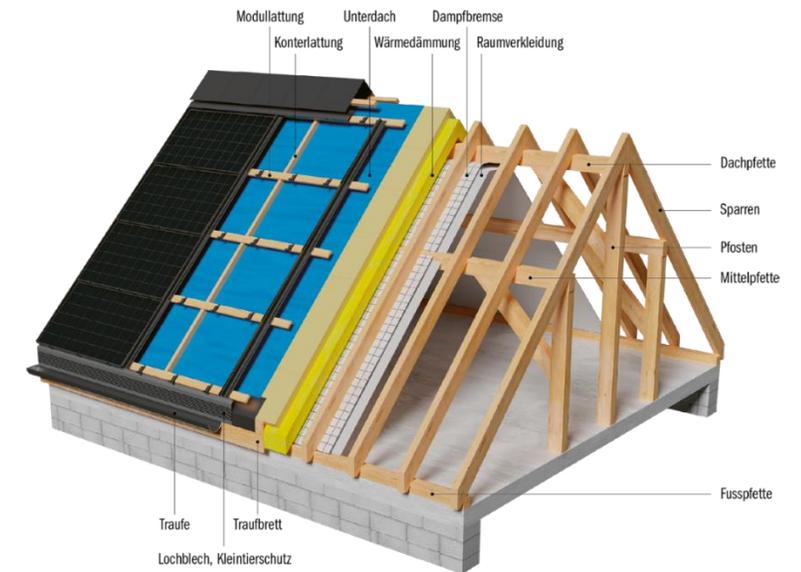
- > 200 prodotti disponibili e commercializzati
- **Solo l'11% del fotovoltaico installato è BIPV**



I pallini verdi sono per soluzioni di alto valore

- 1 Tetto freddo
- 2 Facciata Ventilata
- 3 Dispositivi integrati esterni (lamelle, balaustra,...)
- 4 Lucemario o finestre
- 5 Sistema prefabbricato
- 6 Curtain wall
- 7 Pavimenti

Involucro dell'edificio come centrale elettrica – Tetto piano



Fonte immagini: Christof Bucher, Photovoltaikanlagen, Faktor Verlag 2021

Tetto piano con ghiaia

Senza perforazioni
Aerodinamica
Alta % occupazione

Tetto piano invertito

Senza perforazioni
Ponderata con il substrato verde
Occupazione inferiore

Tetto a falde annesso o integrato

Ancorato alla struttura del tetto
Montato su tegole, lamiera, ecc.
Integrato al posto delle tegole/Lamiera

Involucro dell'edificio come centrale elettrica – Tetto integrato

Diverse dimensioni e forme



SchweizerMetalabau



Soltop, 996x1660 mm



3S Solar System, Megaslade tiles, min 985x875



Panotron, 375x155mm



Swisspearl, Integral, 1300x900mm



Solariresuisse, Sunstyle, 870x870mm



Colore e riflessione, come elementi di integrazione



Involucro dell'edificio come centrale elettrica - facciata



(fonte: Kamaleon Solar)



(fonte: AGC Technovation center,
Gosselies, Belgium)

Imitazione



Vetro strutturato.
Il linguaggio della superficie

05/07/2024

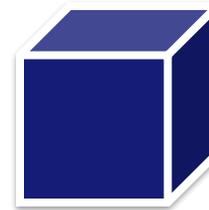
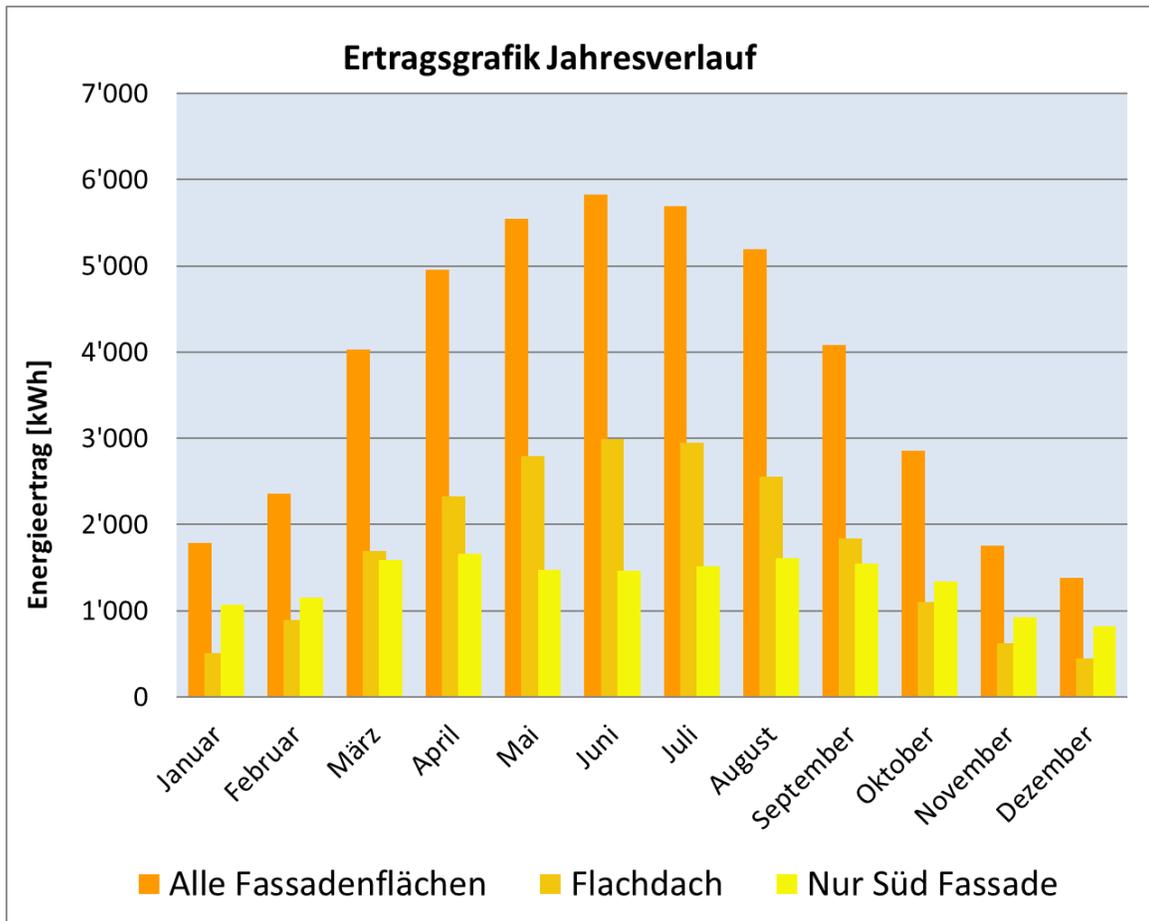
Manipolazione della superficie, come effetto della facciata







Involucro dell'edificio come centrale elettrica: tetto vs facciata



Esempio di calcolo:

- Tutte le superfici 100 m²
- senza rientranze
- Senza ombreggiatura
- Moduli standard neri

Conclusione:

- Tutte le superfici delle facciate producono complessivamente più del doppio dell'energia rispetto al tetto
- Facciata sud circa $\frac{3}{4}$ dell'energia del tetto
- Facciata sud significativamente più produttiva di elettricità in inverno
- Facciata totale quattro volte più produzione di elettricità invernale rispetto al tetto

Due progetti in Ticino di facciate fotovoltaiche



New Campus Franklin University Switzerland, Sorengo



<https://solarchitecture.ch/new-campus-franklin-university-switzerland/>

Polis, Centro Politerapico, Lugano



<https://solarchitecture.ch/polis/>



05/07/2024

(source: Alessandro Rabaglio – Città di Lugano & Chiara Zocchetti – CdT)



Fonte: SUPSI



Fonte: SUPSI

PARTNERS:



SUPSI



SYNAGE⁺
SOLAR BUILDING SKIN

ALSOLIS
IMPIANTI FOTOVOLTAICI

SOLARCHITECTURE
sun as a building material

Anno di costruzione: 2017 – 2021

Facciata fotovoltaica: 173 kWp - 1'675 m²

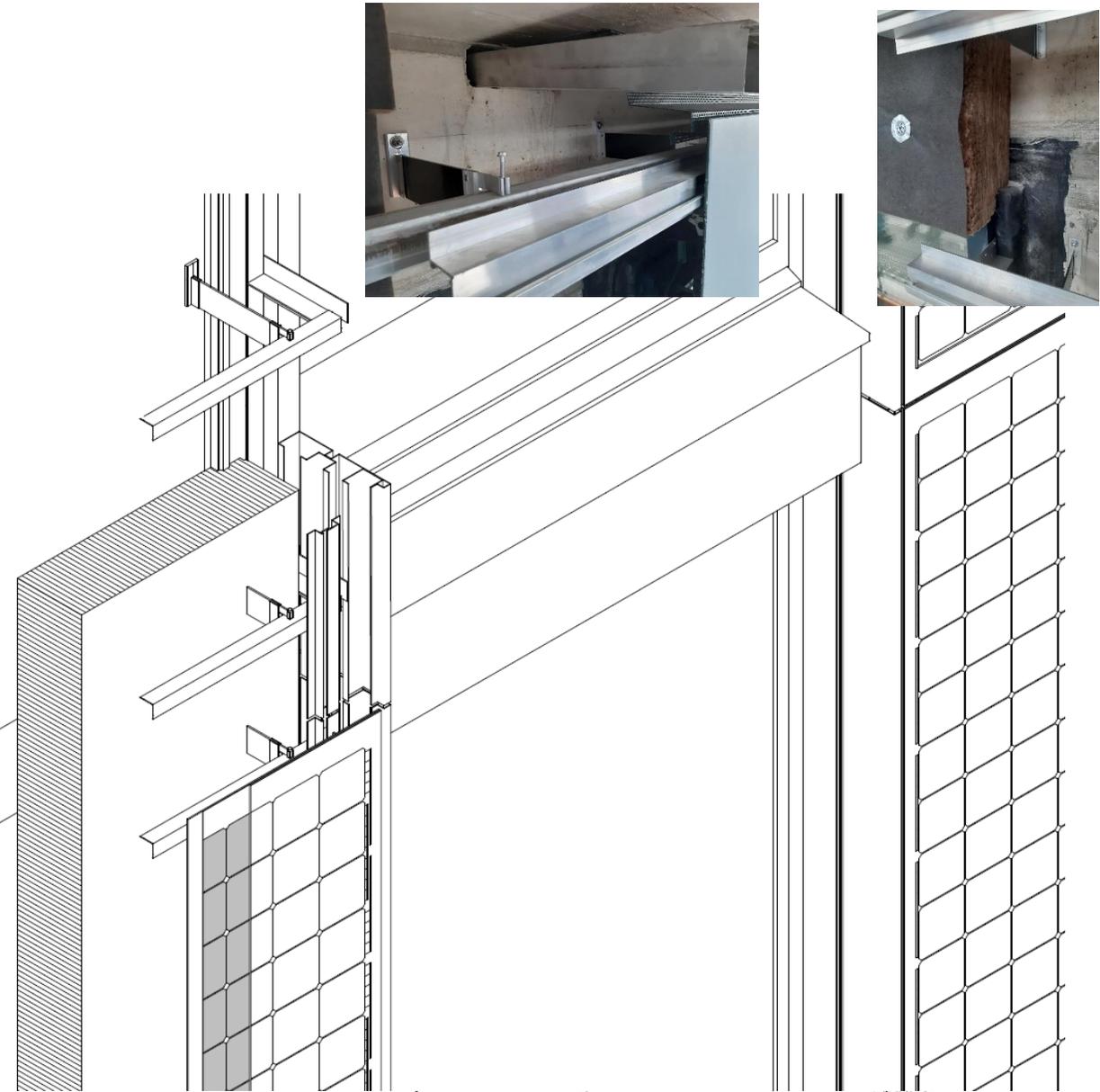
Tetto fotovoltaico: 112 kWp - 603 m²

Sfide edilizie e urbane



05/07/2024

(foto: Alessandro Rabaglio – Città di Lugano & Chiara Zocchetti – CdT)



Construction details (fonte: arch. Galgano, Città di Lugano- ridisegno: ETHZ-www.solarchitecture.ch)

Monitoraggio – produzione energetica

Produzione energetica:

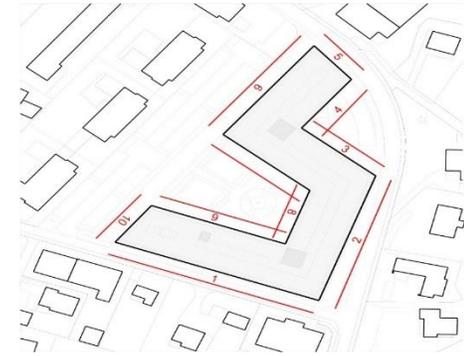
- Facciate: 52'463 kWh (173.3 kWp).
- Rendimento: **200-830 kWh/kWp** (avg 350kWh/kWp)

Efficacia energetica: facciate (facciate & tetto):

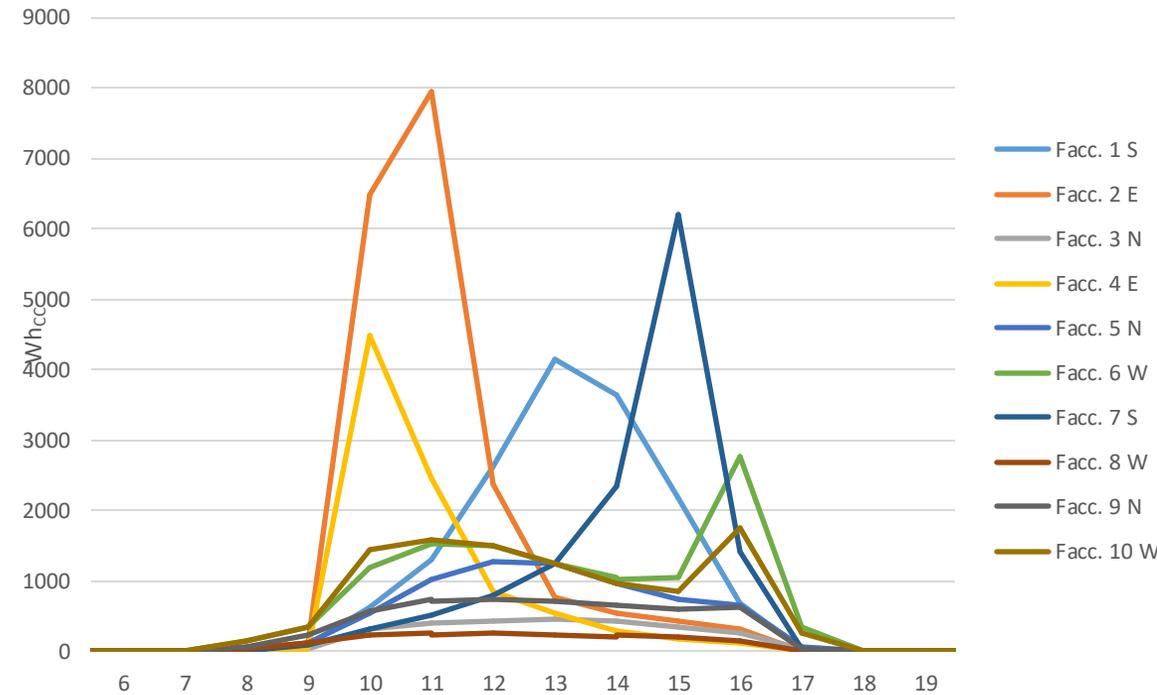
- Autoconsumo: **100%** (99.6%)
- Autarchia: **6%** (**23%**)

Andamenti:

- Nei mesi estivi le facciate a **ovest** presentano una produzione maggiore, le facciate a **sud** producono più energia nei mesi primaverili e autunnali.
- A livello globale, un importante contributo è dato dalle facciate orientate ad est ed ovest, oltre a quelle orientate a sud.



Profilo giornaliero dell'efficienza energetica oraria in CC -1 FEB



Analisi disaggregata delle facciate a livello giornaliero (01.02). Profilo giornaliero della produzione oraria di energia per le singole facciate (Wh)

Costi

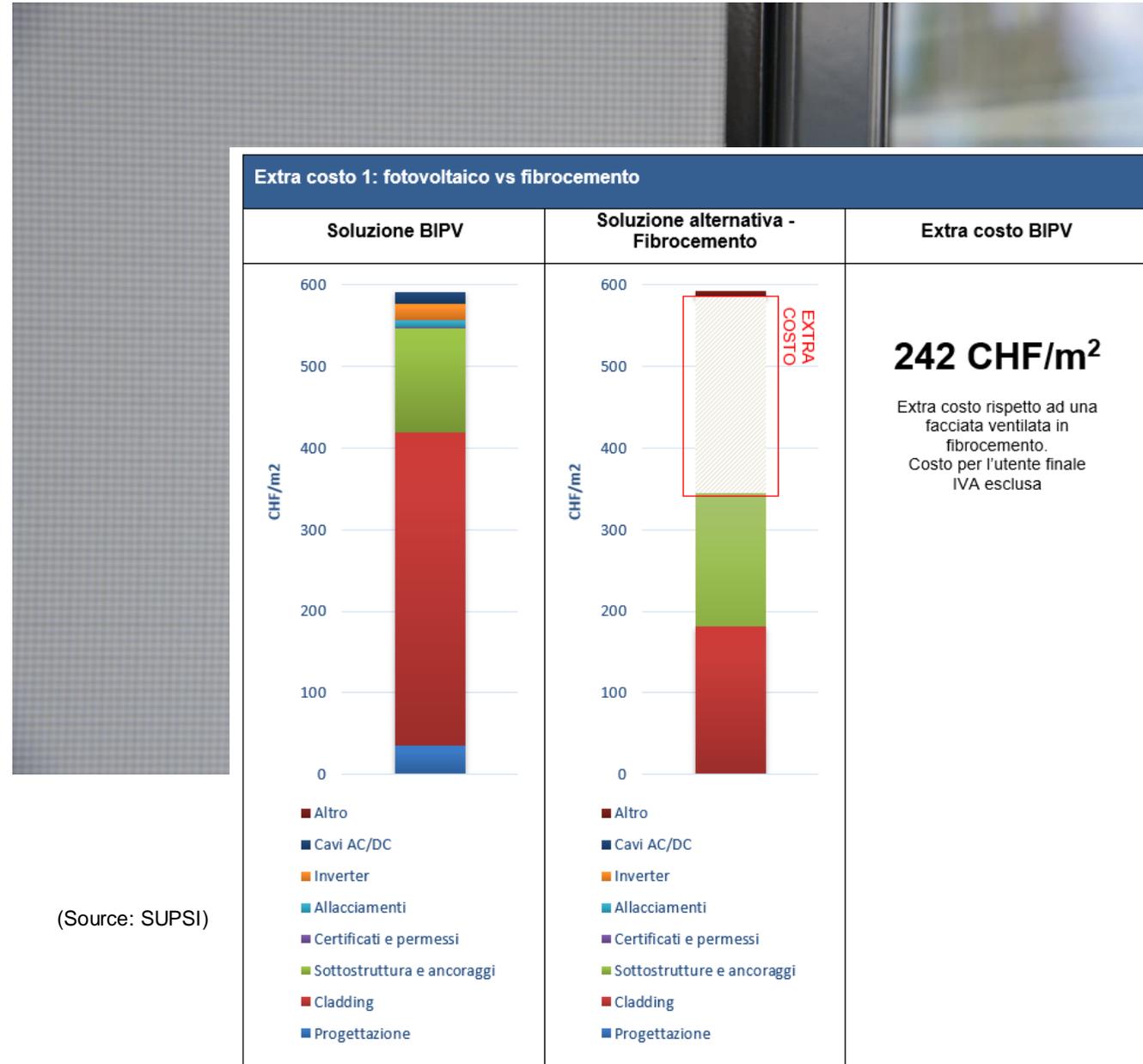
Investimento

extra costo del sistema pari a ca. **242 CHF/m²** se confrontato con un sistema in fibrocemento

- 70% dei costi riguarda le spese del materiale.
- Il costo del rivestimento >50% del totale
- solo un 5% riguarda la parte elettrica che include l'inverter ed i cavi AC/DC.

Nota:

costo dell'involucro di facciata fotovoltaico, rappresenta il 2% circa delle spese necessarie per la realizzazione dell'intero Polis



(Source: SUPSI)

New Campus Franklin University Switzerland

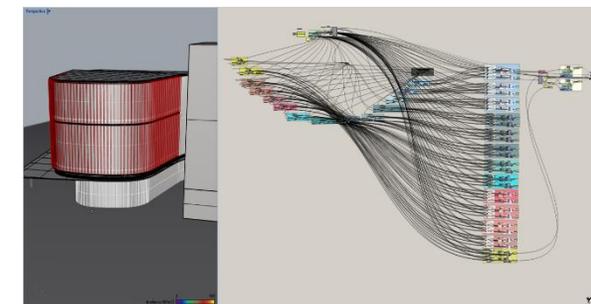
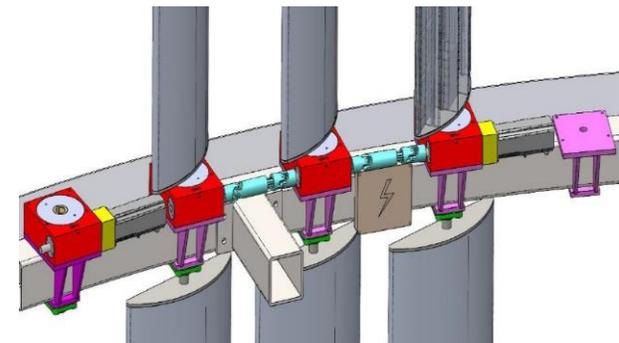
- Architetto: Flaviano Capriotti Architetti
- Installatore di facciate: Kummler+Matter SA
- Installatore: Aziende Industriali di Lugano (AIL) SA
- Anno di costruzione: 2023
- Superficie di riferimento energetico 3'388 m²
- Indice energetico 27,5 kWh/m²a (riscaldamento)



Foto:
Franklin University Switzerland e
Leo Torri



New Campus Franklin University Switzerland



Scuola universitaria professionale
della Svizzera italiana

SUPSI

SUNAGE
of Switzerland

ail

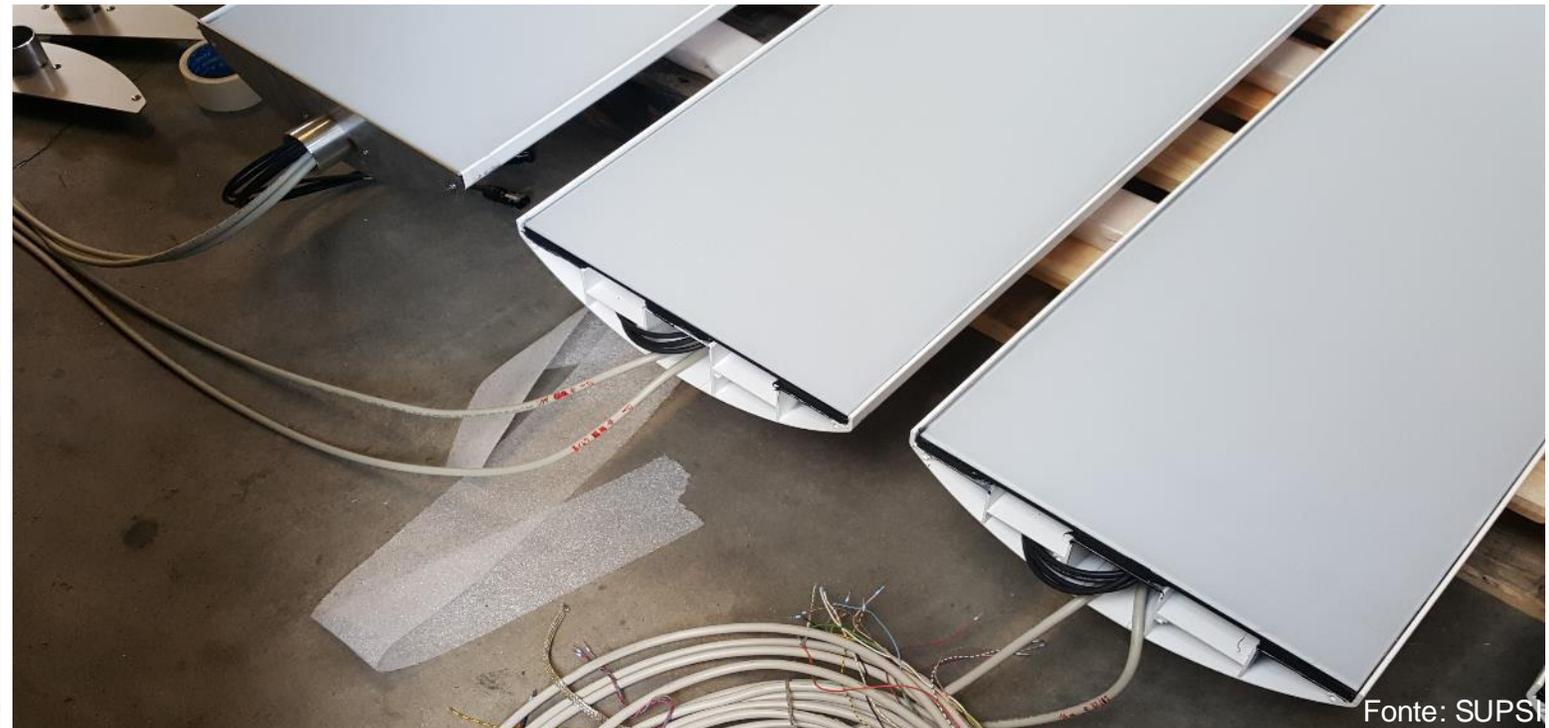
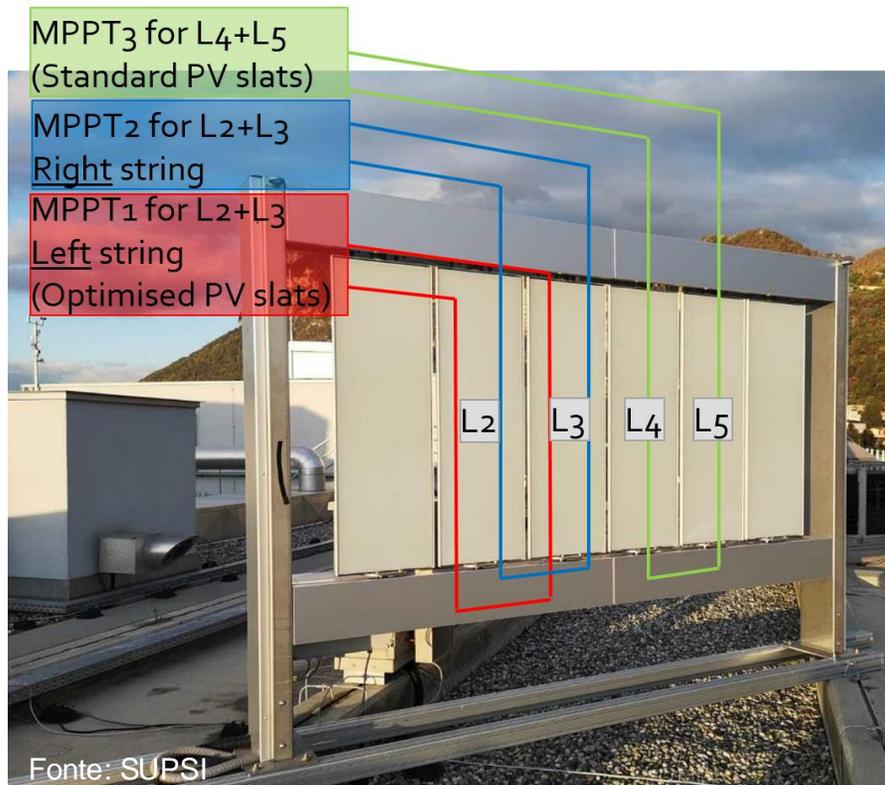
 Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE
Office fédéral de l'énergie OFEN

 **SOLARCHITECTURE**
sun as a building material

New Campus Franklin University Switzerland

- Il progetto mira a dimostrare il potenziale tecno-economico di una tecnologia di ombreggiamento dinamico BIPV altamente estetica e prefabbricata.



Simulazione – produzione energetica

Produzione energetica:

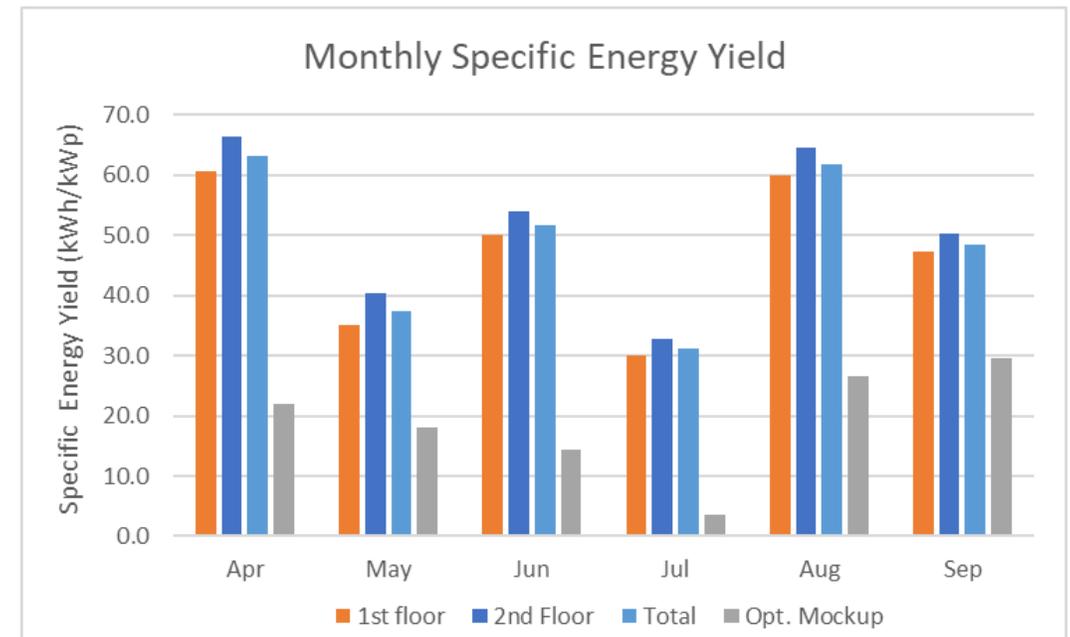
- Facciate: 183 m²
18'700 kWh (18.0 kWp)
- Rendimento medio: **1'030 kWh/kWp (stima)**

Efficacia energetica: facciate:

- Autoconsumo: **100%**
- Autarchia: **da valutare**

Andamenti:

- Il rendimento energetico dell'impianto fotovoltaico del **secondo piano** è più elevato. Secondo le simulazioni preliminari, il primo piano subisce un'ombreggiatura su alcune parti delle lamelle.



New Campus Franklin University Switzerland



Le lamelle esterne consentono di gestire in modo ottimale l'illuminazione naturale degli spazi interni. Fonte: www.solarchitecture.ch

ALTRI CASI PRATICI, ESEMPI: www.solararchitecture.ch

RISANAMENTO



Fonte: *Viridén + Partner AG*

STORICO



Fonte: *Beat Wermuth und Partner Architekten GmbH.*

MISTO



Fonte: *3S Swiss Solar Solution*



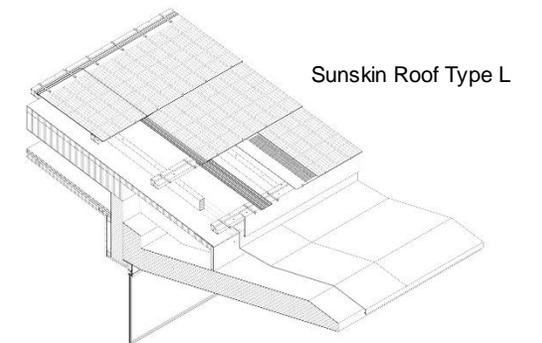
Photo: *SPPA Architekten*



Fonte: *DeltaZERO Architects.* Photo: *Luciano Carugo*



Fonte: *3S Swiss Solar Solution, arch-COMAMALA ISMAIL*



Conclusioni: sfida della pianificazione - pianificazione del progetto

1: Pianificazione strategica

- Concetto del sito
- Catasto solare

2: Studio preliminare

- Valutazione del potenziale / fattibilità
- Conoscere le opportunità della tecnologia
- Possibilità di autoconsumo, stoccaggio o condivisione

3: Pianificazione del progetto

- Concetto di sistema e integrazione
- Posa dei cavi e Statica

4: Gara d'appalto (secondo il SOQ Swissolar)

5: Realizzazione

- Gestione specialistica della costruzione
- Garanzia di qualità

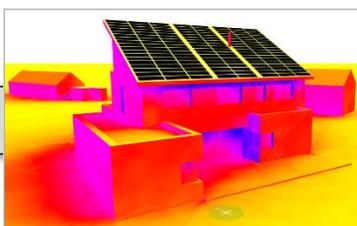
6: Gestione

- Monitoraggio della resa
- Ottimizzazione operativa

1



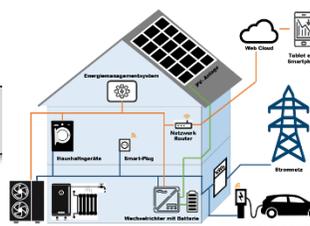
2



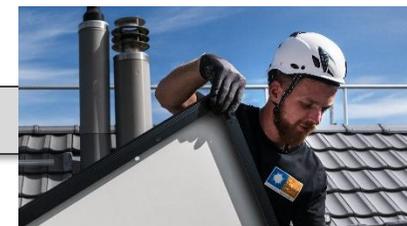
2



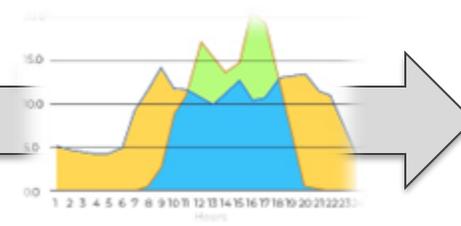
3



4/5



6



Grazie per la vostra attenzione

Prof. Francesco Frontini

francesco.frontini@supsi.ch

www.supsi.ch/isaac

www.solarchitecture.ch



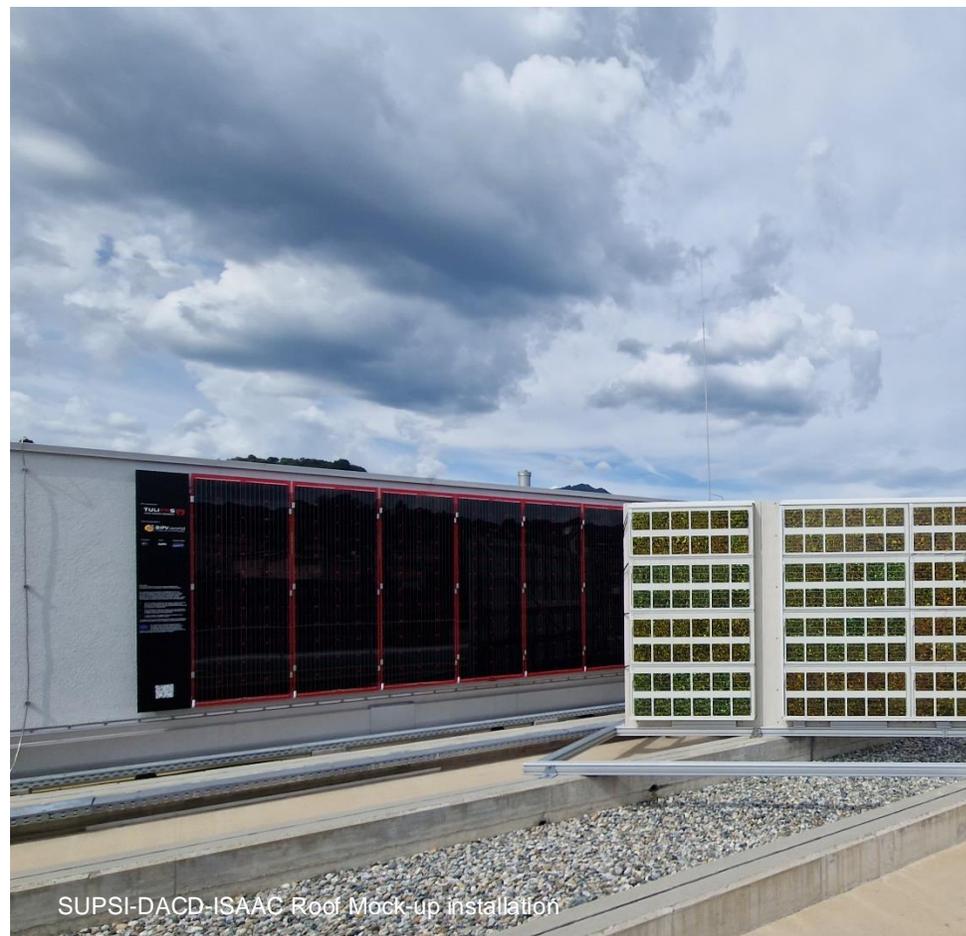
Mit Unterstützung von



Project funded by



05/07/2024



SUPSI-DACD-ISAAC Roof Mock-up installation



Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana

SUPSI

SOL(AR)chitec

tour

4 giorni con lezioni, tour di edifici "casi studio" sul territorio del Ticino e workshop in azienda

Un corso a contatto diretto con esperti, laboratori, professionisti e aziende di settore per fornire strumenti concreti volti allo sviluppo di competenze teoriche e pratiche sulle tecnologie integrate del fotovoltaico (BIPV).

MAGGIO '24

500 CHF

For registration, visit the website:

supsi.ch/en/continuing-education

2 ECTS

20H

Il 5% del fabbisogno di elettricità nel 2050 potrebbe essere generato dalle facciate solari

Solar potential

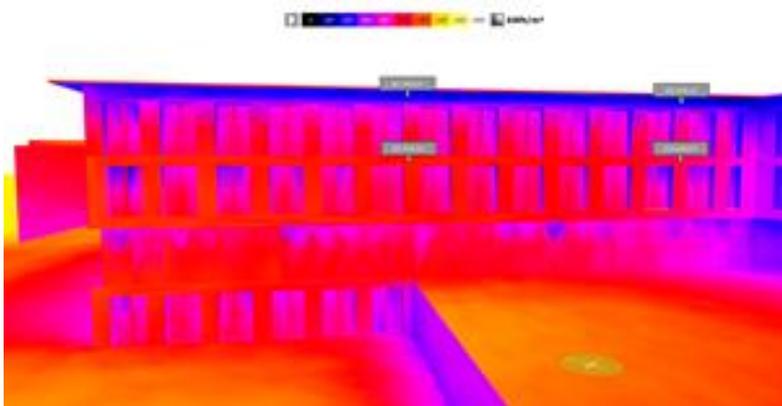
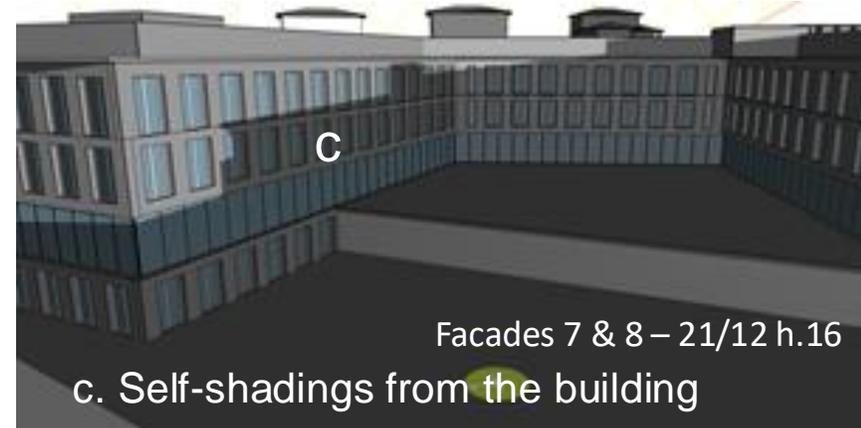
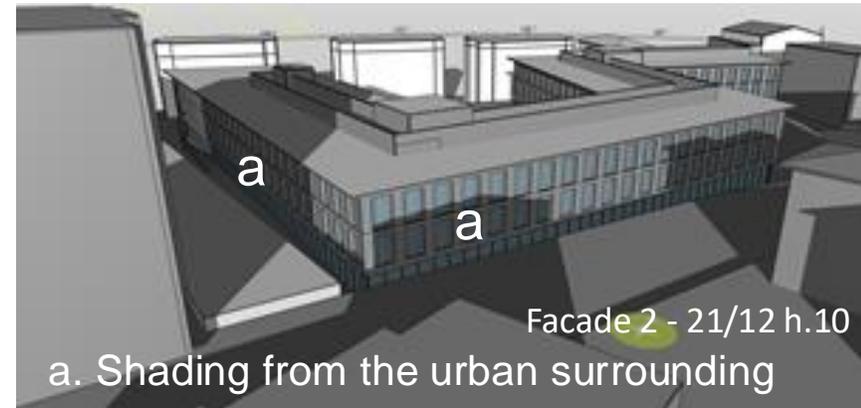
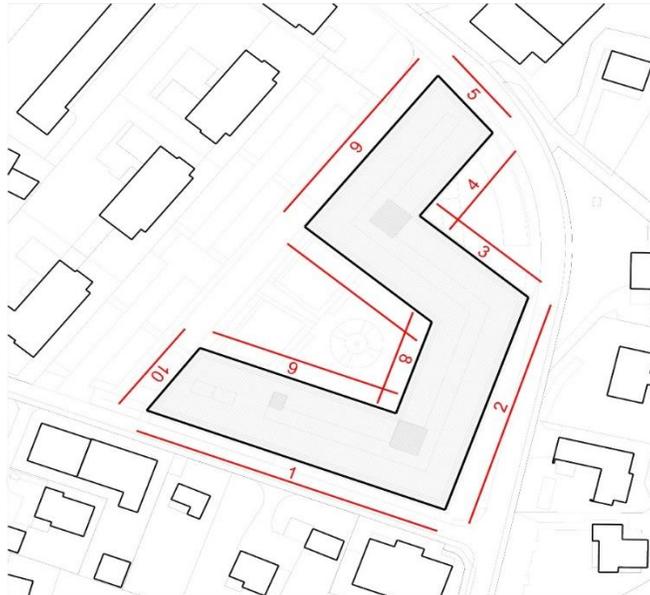
Yield from 215 to 835 kWh/kWp

Max difference between the most and less irradiated points: Δ_{yearly} (kWh/m²):

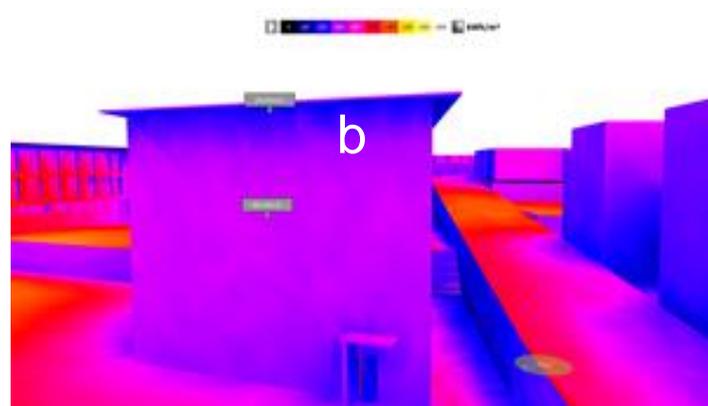
65% (Façade 7)

50% (Façade 10)

TODAY prod.: 16,6 MWh



Façade 7 – Global Spring irradiation (source: SUPSI)



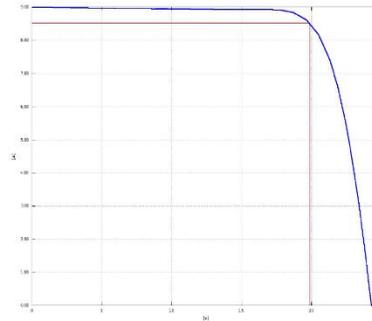
Façade 10 – Global yearly irradiation (source: SUPSI)

Building skin: cladding (module) electrical concept

- Sunage Suncol glass-glass modules (custom-made)

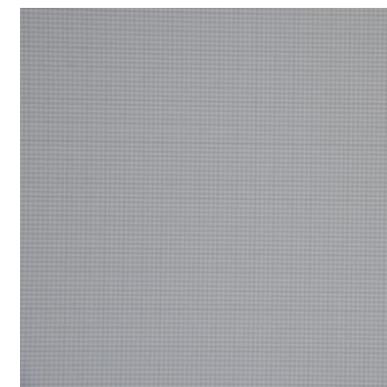
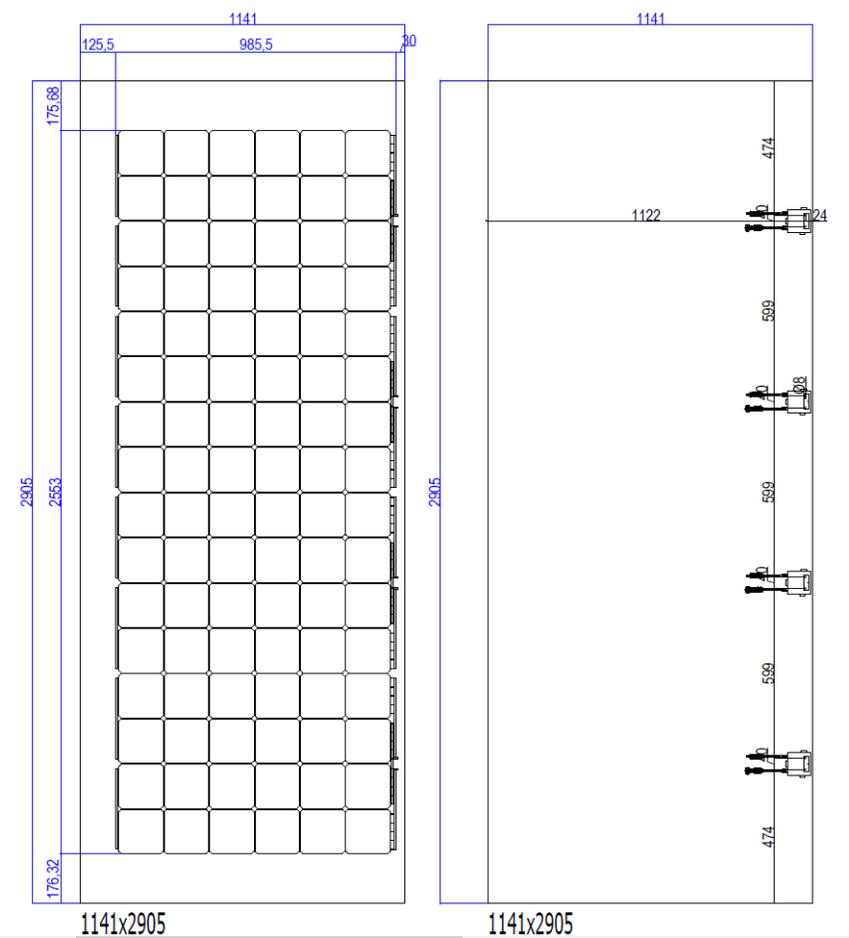
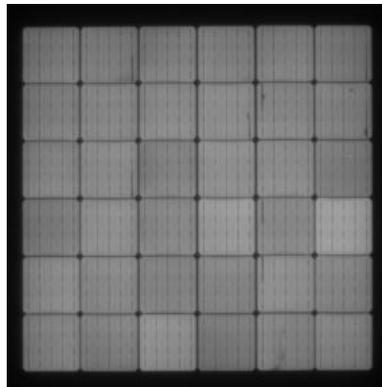
Aesthetic customization:

- Effect of glass colour (compared to a transparent front glass): reduction of 25-30% power output in STC



Module electrical features:

- C-Si mono
- 4 horizontal sub-modules 48cells (4 JB)
- 4 diodes
- Specific power: 110/130 Wp/m²



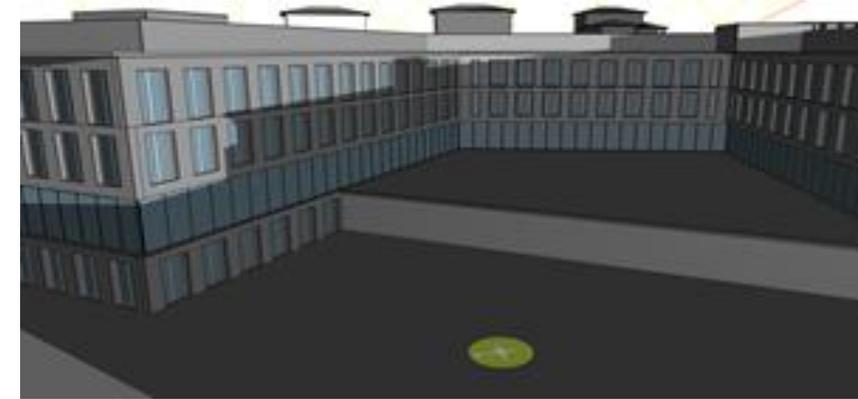
Building skin: cladding (system) electrical concept

String-level electrical layout :

- Power optimizer for different modules area.
E.g. Groups of modules (horizontal bands) are connected to the same power optimizer
- Strings of modules with their power optimizers are connected to inverters



(Source: SUPSI)



	32	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
85	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
85	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	32	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
1	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9			

	32	16	16	16	16	16	16	16	16	16	32
80	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	32	16	16	16	16	16	16	16	16	32	
1	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	

(Electrical layout concept –Facade 7- Source: Alsolis)

The research project: Verso-EST

Main goals:

- Monitoring of facade energy performance in operation
- Simulation of PV-energy and performance-gap
- Techno-economic analysis of costs and revenues
- Citizens sensitization and communication

Impact:

- Development of an operative model, to promote the implementation of BIPV technologies on the façade



Co-financed by:



In partnership and with the support of:

SUPSI



SYNAGE⁺
SOLAR BUILDING SKIN

ALSOLIS
IMPIANTI FOTOVOLTAICI dal 2007

Cost competitiveness

Single/aggregated facades analysis

(Facades 1&7 South)

- Co: +46 CHF/m² (PBT: 13 years)*

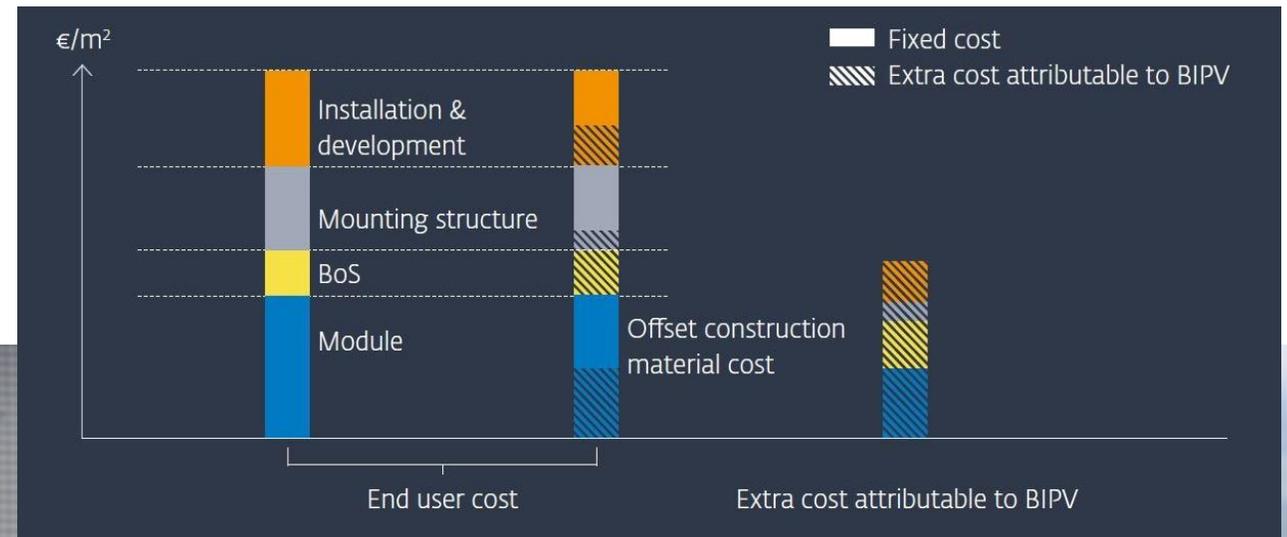
Global analysis:

- Co: -78 CHF/m² (PBT >30years)*

*analysis are based on energy simulated data

- $Co = NPV/A = \text{€}/m^2$
- Simulated energy data, 30 years, 100% SC

Analysis will be validated with real data



(Source: SUPSI –Bequerel)

242 CHF/m²

Extra cost

in comparison to a rainscreen facade with a fibercement composite panel (alternative of the original project) –VAT excluded.

(Source: SUPSI For more details see: BIPV Status Report 2020)

Lessons learned

“I want a solar building”

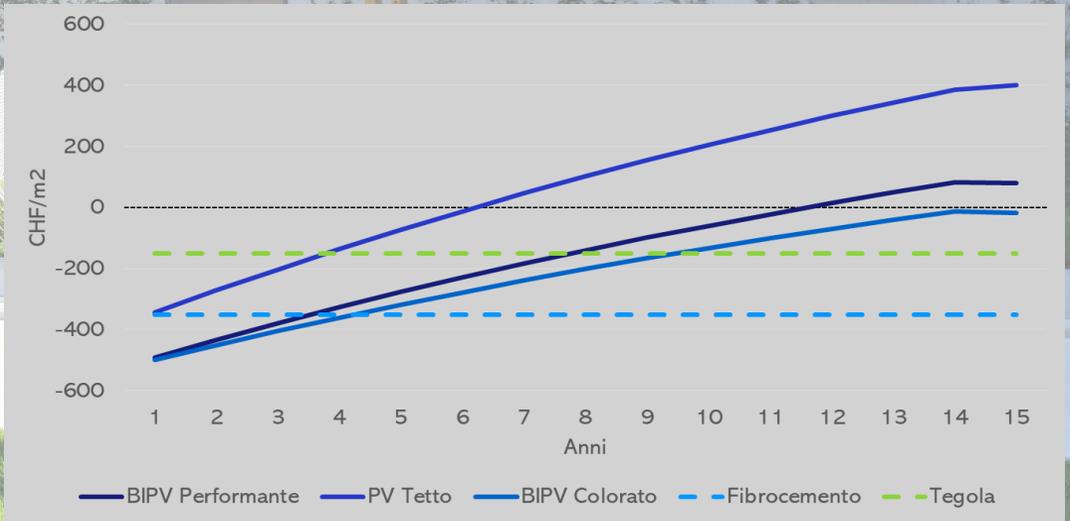
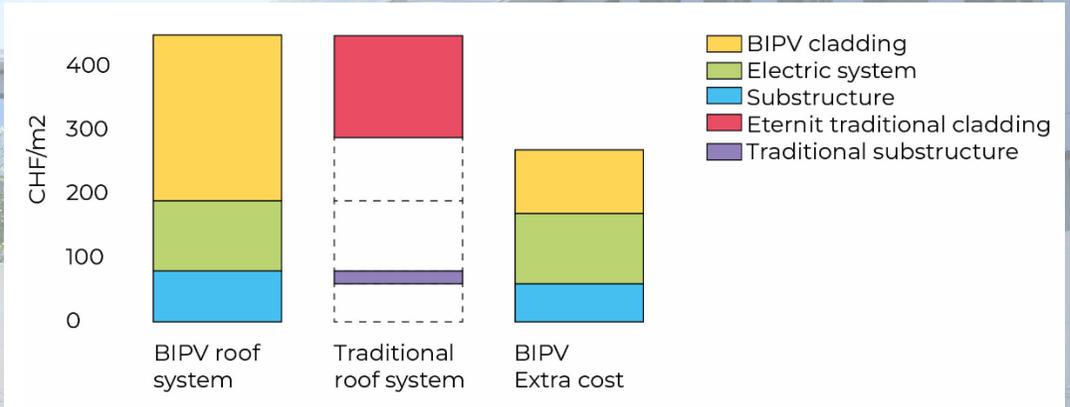
- Decision making, makes the difference
- Multifunctionality is the starting point...

...**interdisciplinarity** is all the rest:

- Architecture & PV **energy concept**
- Construction and PV **technologies**
- Building and electric **engineering**
- Energy and economy **optimization**
- Construction and PV **processes**

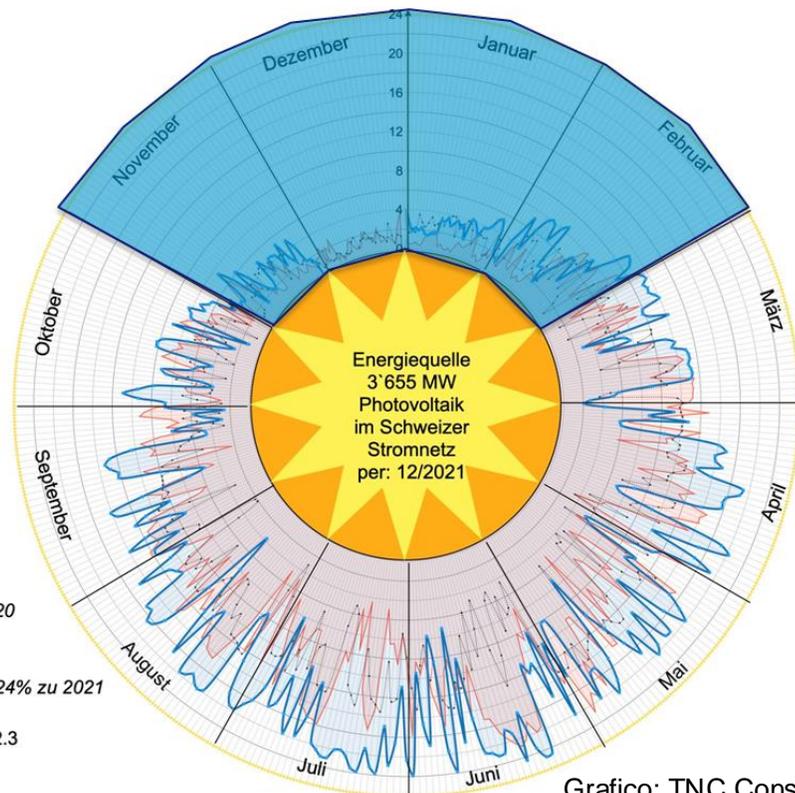


Pensare all'aspetto economico dall'inizio



Produzione invernale e locale (vicino al consumatore)

■ PV GWh/Tag 2022 □ PV GWh/Tag 2020
■ PV GWh/Tag 2021



Darstellung:
 Th. Nordmann
 TNC Consulting AG
 Datenaufbereitung:
 Swiss Energy-Charts ©
 Datenquelle: Pronovo
 1/4h Werte 2020/21/22

 Durchschnitt/Tag [GWh/Tag]
 Summe Total TWh/a

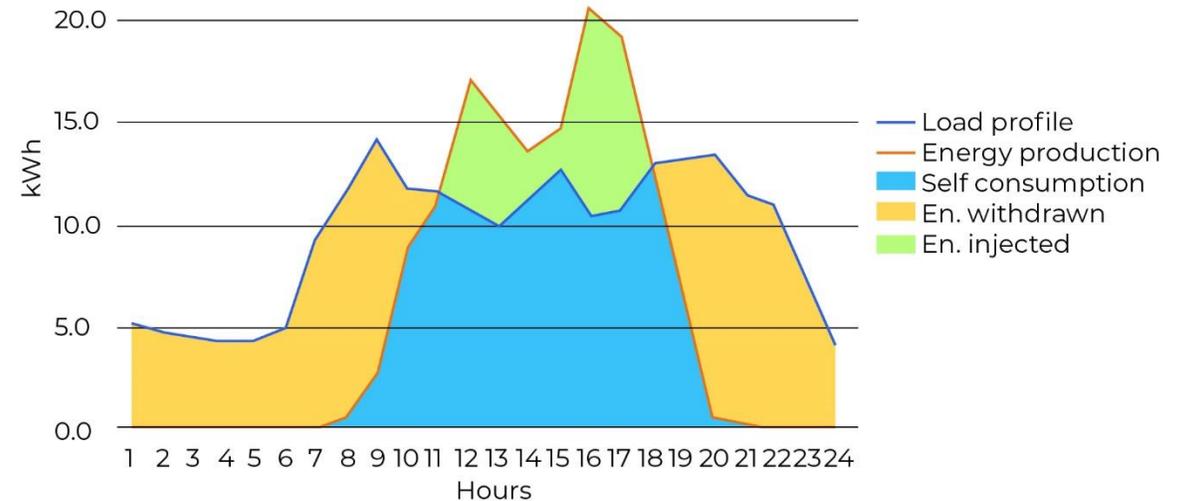
2020 ø 7.12 GWh (schwarz)
 Total 2.597 TWh/a

2021 ø 8.02 GWh (rot)
 Total 2.957 TWh/a +14% zu 2020

2022 ø10.98 GWh (blau)
 Total 3.666 TWh (11 Monate) +24% zu 2021

 Stand 30. November 2022 rel. 2.3
 © TNC Consulting AG

Grafico: TNC Consulting AG



Profilo di carico giornaliero e produzione energetica di un edificio multi-unità.