

faktor
Architektur Technik Energie

Christof Bucher

Impianti fotovoltaici

Progettazione | installazione | funzionamento





Christof Bucher

Impianti fotovoltaici

Progettazione | Installazione | Funzionamento

Serie di pubblicazioni tecniche ■ Faktor Verlag

Impressum

Impianti fotovoltaici – Progettazione, installazione, funzionamento

1ª edizione italiana, Faktor Verlag, Zurigo 2026

Basato sulla 2ª edizione dell'originale tedesco, 2025

ISBN: 978-3-905711-93-6

Autore: Christof Bucher

Ente responsabile edizione tedesca: Ufficio Federale dell'Energia, Fondo Contributi 2000-Watt città di Zurigo, EIT.swiss, Suissetec, Swissolar, Scuola universitaria professionale di Lucerna (HSLU)

Ente responsabile edizione italiana: Swissolar, Suissetec, Scuola universitaria professionale di Berna (BFH), Polybau/Policos

Revisione specialistica: Matteo Gamba, Michele Pagnamenta

Traduzione: Teconia GmbH

Impaginazione: Noemi Bösch, Christine Sidler; Faktor Verlag

Visualizzazioni 3D: supacGI GmbH

Immagine titolo: PV-Anlage Swiss Bike Park, 3S Swiss Solar Solutions AG

Editore: Faktor Verlag AG, Hardstrasse 322a, 8005 Zurigo, Tel. 0041 44 316 10 60, info@faktor.ch, www.faktor.ch

La traduzione di questo libro è stata sovvenzionata dalla Confederazione.

Con il sostegno di

SWISSOLAR 

 **suissetec**

 Berner Fachhochschule
Haute école spécialisée bernoise
Bern University of Applied Sciences


POLYBAU
POLICOS

Formazioni per gli specialisti dell'involucro edilizio

Indice

Parte 1 – Nozioni di base

1. Storia del fotovoltaico	10
2. Il mercato	15
2.1 Sviluppo del mercato internazionale	15
2.2 Lo sviluppo in Svizzera	18
2.3 Commercializzazione dell'energia solare	19
3. Economicità	21
3.1 Costi del capitale e d'esercizio	21
3.2 Valore in contanti, Valore attuale netto e annualità	24
3.3 Piano di liquidità	24
3.4 Calcolo dei costi della produzione di elettricità (LCOE) e del rendimento	27
4. Quadro politico e incentivi	31
4.1 Strategia energetica 2050	31
4.2 Struttura del mercato e incentivi del fotovoltaico	32
4.3 Autoconsumo e raggruppamento ai fini del consumo proprio	38
5. Pianificazione del territorio e prescrizioni sulla costruzione	43
5.1 Protezione dei monumenti	46
5.2 Riflessione e abbagliamento	47
5.3 Leggi, norme e direttive	53
5.4 Tassazione	55
6. Ecologia e sostenibilità	57
6.1 Il bilancio ecologico	57
6.2 Il bilancio energetico	58
6.3 Bilancio degli inquinanti e punti di impatto ambientale	59
6.4 Requisiti delle materie prime	60
6.5 Compatibilità elettromagnetica	62
7. Architettura	65
7.1 Cosa fare e cosa non fare in architettura	65
7.2 Fasi dell'integrazione	66
7.3 La pluralità di moduli fotovoltaici	68
7.4 Il fotovoltaico nell'ambiente urbano	69
7.5 Approcci risolutivi ed esempi	71
8. Energia solare	81
8.1 Il sole come fonte di energia	83
8.2 L'orbita solare apparente	84
8.3 Radiazioni solari	86
8.4 Influenza della copertura nuvolosa	91
8.5 Massa d'aria e albedo	91
8.6 Irraggiamento su piano inclinato	92
8.7 Ombra e orizzonte	95

Parte 2 – Componenti

9. Elettricità dalla luce del sole	99
9.1 Principi fisici	99
9.2 Effetto fotoelettrico	100
9.3 Tipi di celle FV	105
9.4 Fabbricazione di celle FV cristalline	107
9.5 Ottimizzazione delle celle	109
9.6 Tecnologia a pellicola sottile	114
9.7 Celle fotovoltaiche organiche, celle di Grätzel e perovskite	117
10. Moduli fotovoltaici	119
10.1 Processo di fabbricazione	119
10.2 Collegamento delle celle FV	123
10.3 Vetro solare	124
10.4 Scatola di giunzione del modulo e diodo di bypass	129
10.5 Tipologie di moduli FV	131
10.6 Applicazioni speciali	136
10.7 Moduli FV colorati	138
10.8 Cablaggio elettrico di celle e moduli	138
10.9 Proprietà elettriche	140
10.10 Ombreggiamento parziale dei moduli con celle in silicio cristallino	145
10.11 Ombreggiamento parziale per moduli a pellicola sottile	151
10.12 Degradazione	151
10.13 Test e qualificazione dei moduli FV	154
11. Inverter allacciati alla rete	155
11.1 Componenti e funzioni degli inverter	155
11.2 Tipi di inverter	159
11.3 Potenza attiva, potenza reattiva e potenza apparente	166
11.4 Efficienza	168
11.5 Caratteristiche degli inverter	169
11.6 Funzioni di monitoraggio e protezione	169
11.7 Allacciamento alla rete: regolazione, immunità, protezione, interferenze di rete	171
11.8 Compatibilità elettromagnetica e armoniche	172
11.9 Durata di vita degli inverter	173
12. Sistemi di batterie, inverter ibridi e regolatori di carica	175
12.1 Nozioni di base e definizioni	175
12.2 Tecnologia delle celle	178
12.3 Topologie di sistema	183
12.4 Backup e gruppi di continuità (UPS)	185
12.5 Sistemi a isola	186
13. Installazione in corrente continua	189
13.1 Scatola di giunzione del generatore FV	189
13.2 Cavi DC	190
13.3 Canali portacavi e tubi protettivi per cavi	190
13.4 Connettore DC	191
13.5 Protezione da sovracorrente DC	192
13.6 Interruttori, sezionatori	193
13.7 Scaricatori di sovratensione DC	194

14. Installazione AC	195	21. Dimensionamento dell'accumulatore per impianti allacciati alla rete	257
14.1 Apparecchiature assiemate di manovra	195	21.1 Ambiti di applicazione dei sistemi di accumulo	257
14.2 Linee AC	196	21.2 Calcolo della capacità di accumulo ottimale	258
14.3 Protezione da sovracorrente AC	196	21.3 Dimensionamento della potenza e della protezione contro le sovracorrenti	264
14.4 Interruttori, sezionatori	196	21.4 Strategie di carica e scarica	264
14.5 Protezione da sovratensione	198	22. Dimensionamento degli impianti a isola	267
14.6 Strumenti di misura, contatori	198	22.1 Analisi dell'utilizzo e delle utenze	267
14.7 Impianti fotovoltaici da balcone con collegamento a spina	200	22.2 Calcolo della capacità di accumulo	268
15. Gestione dell'energia e monitoraggio dell'impianto	201	22.3 Calcolo della potenza fotovoltaica	270
15.1 Categorie di sistema	201	22.4 Scelta della potenza AC	272
15.2 Sistemi di comunicazione	203	23. Messa a terra, collegamento equipotenziale, protezione contro i fulmini	273
15.3 Stazioni meteorologiche	204	23.1 Messa a terra e collegamento equipotenziale	273
15.4 Strumenti di misura dell'irraggiamento	204	23.2 Protezione da sovratensione	275
		23.3 Protezione contro i fulmini, principi fondamentali	276
Parte 3 - Progettazione		23.4 Analisi del rischio e concetto di zona per la protezione contro i fulmini	277
16. Produzione di energia	207	23.5 Categorie di protezione contro i fulmini	277
16.1 Panoramica dei metodi di calcolo	207	23.6 Distanza di separazione	278
16.2 Produzione annua di energia	207	23.7 Geometria della posa dei cavi	279
16.3 Produzione di energia mensile	210	23.8 Opzioni di implementazione della protezione contro i fulmini	280
16.4 Produzione di energia oraria o per quarti d'ora	211	23.9 Luogo di installazione inverter e protezione di linee	283
16.5 Perdite dell'impianto FV	211	23.10 Protezione contro i fulmini nella facciata	284
16.6 Elettricità invernale con il fotovoltaico	217	24. Allacciamento alla rete	285
16.7 Picco di potenza e punta di carico	218	24.1 Procedura di allacciamento alla rete	285
17. Autoconsumo	219	24.2 Principi e documenti di base	285
17.1 Calcolo dell'autoconsumo	220	24.3 Requisiti per gli impianti FV	286
17.2 Ottimizzazione dell'autoconsumo	222	24.4 Misurazione e schema di conteggio	291
17.3 Autoconsumo al servizio della rete	225	24.5 Fotovoltaico nella rete intelligente	292
18. Layout dell'impianto	227	24.6 Fotovoltaico nella microrrete	292
18.1 Aspetto estetico	227	24.7 Allacciamento alla rete del futuro	293
18.2 Produzione di energia	229	25. Integrazione nell'automazione degli edifici	297
18.3 Accessibilità	229	25.1 Energia solare termica e collettori termici FV	297
18.4 Sistema anticaduta	229	25.2 Scaldacqua con resistenza elettrica	298
18.5 Ulteriori requisiti e specifiche	230	25.3 Pompa di calore	300
18.6 Installazione verticale o orizzontale?	230	25.4 Elettrodomestici	302
18.7 Angolo di inclinazione e distanza tra le file per impianti FV su tetti piani	232	25.5 Sistemi di automazione degli edifici	302
19. Progettazione e dimensionamento degli impianti allacciati alla rete	233	25.6 Mobilità elettrica, stazioni di ricarica	303
19.1 Scelta della potenza dei moduli	233	25.7 Riduzione dinamica della potenza attiva	304
19.2 Picco di potenza e punta di carico	233	25.8 Gerarchia e priorità delle regolazioni	304
19.3 Scelta della potenza ottimale dell'inverter	235		
19.4 Cablaggio dei moduli	237		
19.5 Progettazione con ottimizzatori di potenza	243		
20. Progettazione e dimensionamento del cablaggio DC	247		
20.1 Utilizzo e dimensionamento della protezione contro le sovracorrenti e dei diodi di stringa	247		
20.2 Dimensionamento dei cavi	248		
20.3 Posa dei cavi	250		
20.4 Gestione dell'ombreggiamento parziale	252		
20.5 Dispositivi di sezionamento e di manovra	253		

26. Sistemi di montaggio	307	Parte 4 - Realizzazione e funzionamento	
26.1 Principi generali su tetto, facciata e involucro edilizio	307	33. Installazione	401
26.2 Classificazione dei sistemi di montaggio	308	33.1 Chi può effettuare l'installazione?	401
26.3 Impianti montati su tetti inclinati	310	33.2 Preparazione e logistica del cantiere	402
26.4 Impianti integrati nei tetti inclinati	316	33.3 Procedimento costruttivo	402
26.5 Impianti montati sui tetti piani	324	33.4 Espansione dei materiali e compatibilità	403
26.6 Impianti su facciata	331	33.5 Note sull'installazione e sulla qualità dell'installazione	404
26.7 Tettoie per auto e pensiline	339	33.6 Errori tipici	406
26.8 Vetrate sopraelevate e pergolati	340	33.7 Impianti FV a innesto	412
26.9 Ringhiere e parapetti	341	34. Controlli, collaudi, messa in servizio e misure	413
26.10 Edifici infrastrutturali	342	34.1 Misurazioni	417
26.11 Impianti al suolo	342	35. Documentazione	431
27. Statica	347	35.1 Etichettatura e marcatura	431
27.1 Carichi di neve	348	35.2 Documentazione dell'impianto	432
27.2 Carico del vento	351	36. Esercizio e manutenzione	435
27.3 Fattori di sicurezza	353	36.1 Amministrazione e gestione	435
27.4 Facciata e vetrate di copertura	355	36.2 Monitoraggio dell'impianto	436
28. Tutela del lavoro e della salute	359	36.3 Interventi di manutenzione e ispezioni	438
28.1 Basi giuridiche	359	36.4 Pulizia	442
28.2 Misure di protezione anticaduta temporanee durante la posa	360	36.5 Riparazione, sostituzione e repowering	444
28.3 Misure di protezione anticaduta permanenti per funzionamento e manutenzione	361	36.6 Costi d'esercizio e manutenzione	446
28.4 Sicurezza elettrica	368	37. Smantellamento	449
28.5 Amianto	369	Appendice	453
29. Protezione antincendio	371	A.1 Grazie	453
29.1 Regolamenti e principi	371	A.2 Informazioni sull'autore	453
29.2 Valutazione del rischio, obiettivi di protezione, fonti di pericolo e soluzioni	373	A.3 Normative	454
29.3 Protezione antincendio per impianti FV e sistemi di accumulo a batteria	374	A.4 Norme, linee guida	455
29.4 Protezione antincendio per facciate FV	377	A.5 Abbreviazioni	456
30. Progettazione computerizzata degli impianti	383	A.6 Punti importanti primo sopralluogo	459
30.1 Applicazioni meteo e sistemi di calcolo del potenziale fotovoltaico	384	A.7 Punti importanti per collaudo e messa in funzione	461
30.2 Programmi di simulazione	385	A.8 Indice	463
30.3 Strumenti online e di calcolo	388		
30.4 Strumenti per l'elaborazione di offerte	389		
30.5 Strumenti di progettazione degli inverter	389		
30.6 Building Information Modeling	389		
31. Acquisti, gara d'appalto, gara pubblica	391		
31.1 Acquisti	391		
31.2 Documenti di gara	392		
31.3 Capitolato	394		
31.4 Digitalizzazione degli acquisti	394		
32. Svolgimento del progetto	397		