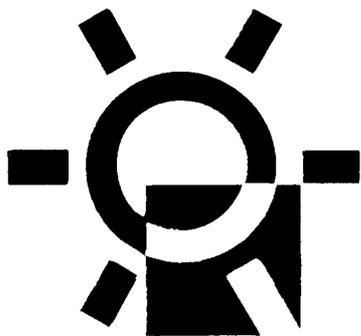


Impianti fotovoltaici- basi, montaggio e immissione nella rete

Energie rinnovabili



PACER

Impianti fotovoltaici - basi, montaggio e immissione nella rete

**Corso per elettricisti installatori,
quadri del settore elettrotecnico e
insegnanti delle scuole tecniche**

Idea, impostazione grafica e redazione:

Alpha Real AG

Energy System und Engineering

Feldeggstrasse 89, 8008 Zurigo

H. Prinz, ing. el. dipl. ETH

M.G. Real, ing. el. dipl. ETH

S. Kessler, ing. mecc. dipl. ETH

Patrocinio:

USEI Unione svizzera installatori elettricisti

SBHI Ingegneri consulenti svizzeri per la tecnica
e l'energia negli edifici

SOFAS Associazione svizzera degli specialisti per
l'energia solare

APSLI Associazione padronale svizzera lattonieri
e installatori

Copyright Ufficio federale dei problemi congiunturali
3003 Berna, giugno 1991

Riproduzione parziale consentita solo con menzione
della fonte. Da ordinarsi presso l'Ufficio centrale fede-
rale degli stampati e del materiale (UCFSM), 3000
Berna (n. di ordinazione 724.242 i)

Elenco degli autori

Capitolo 1

M. Real Alpha Real AG, Zurigo

Capitoli 2 a 4

H. Prinz Alpha Real AG, Zurigo

Capitoli 5 a 6

G. Hefti IBG Hefti, Allschwil

Capitolo 7

M. Real Alpha Real AG, Zurigo

Capitolo 8

H. Kunz Elektrizitätswerk des Kantons Zurich
(EKZ), Zurigo

Capitolo 9

H. Prinz Alpha Real AG, Zurigo

Capitolo 10

M. Real Alpha Real AG, Zurigo

Capitolo 11

R. Brun Alternative Technik, Tamins

M. Real Alpha Real AG, Zurigo

Appendici 1 a IV

H. Prinz Alpha Real AG, Zurigo

M. Real Alpha Real AG, Zurigo

Appendice V

H. Bersinger Aargauische Elektrizitätswerke
(AEW), Aarau

Si ringraziano qui anche tutti gli altri specialisti che hanno dato un prezioso contributo alla riuscita della pubblicazione, comunicando agli autori il proprio giudizio critico nell'ambito della consultazione.

Prefazione

Il programma d'azione << Edilizia ed energia >> si svolge entro un arco di tempo limitato a sei anni (1990-1995) e si articola in tre programmi d'impulso (Pi):

- . PI EDIL - conservazione e rinnovamento
- RAVEL - utilizzo razionale dell'elettricità
- Ž PACER - energie rigenerabili

Con i programmi d'impulso — attuati in stretta collaborazione dagli ambienti economici, gli istituti di formazione e la Confederazione — si intende promuovere a livello qualitativo il processo di creazione del valore. Quest'ultimo deve infatti sempre più essere caratterizzato da un uso moderato di materie prime ed energie non rinnovabili e da un impatto ambientale decrescente, mentre per converso richiede un impegno maggiore di capitale intellettuale e capacità. Al centro delle attività previste nell'ambito del PI PACER v'è la promozione di un maggiore sfruttamento delle energie rinnovabili. Malgrado l'enorme potenziale, il contributo di queste energie (se eccettuamo la forza idrica) è rimasto sino a oggi molto limitato. Il PI PACER vuole pertanto

- promuoverne l'adozione con il miglior rapporto costi/benefici,
- fornire a ingegneri, architetti e installatori le necessarie conoscenze,
- introdurre un'altra ottica economica che internalizzi i costi esterni (impatto ambientale ecc.) e
- informare e formare le autorità e i committenti.

Corsi, convegni, pubblicazioni, audiovisivi ecc.

Gli obiettivi del PI PACER verranno realizzati per il tramite dell'informazione, della formazione e dell'aggiornamento. La trasmissione delle conoscenze sarà orientata secondo le esigenze della pratica e verrà incentrata essenzialmente su pubblicazioni, corsi, convegni tematici ecc. Il pubblico previsto si compone di ingegneri, architetti, installatori come pure di operatori attivi in settori specialistici nel campo delle energie rinnovabili.

La diffusione di informazioni generali costituisce altresì un importante elemento del programma. Con essa ci si prefigge di trasmettere degli impulsi a committenti, architetti, ingegneri e rappresentanti dell'autorità.

Le persone interessate possono orientarsi in merito al ventaglio di proposte formative offerte ai vari gruppi professionali attraverso la rivista IMPULSO, pubblicata da due a tre volte l'anno e ottenibile gratuitamente

in abbonamento (nelle versioni italiana, francese o tedesca) presso l'Ufficio federale dei problemi congiunturali, 3003 Berna. A ogni partecipante a un corso o convegno tematico sarà inoltre consegnata una documentazione, consistente in testi specialistici elaborati per l'occasione. Queste pubblicazioni possono tuttavia essere ottenute indipendentemente dalla frequentazione dei corsi, ordinandole direttamente all'Ufficio centrale federale degli stampati e del materiale (UFCSM), 3000 Berna.

Organizzazione e competenza

Per realizzare un programma di formazione tanto ambizioso si è scelta un'impostazione che, oltre ad assicurare una meticolosa elaborazione settoriale da parte di specialiste e specialisti, prestasse attenzione anche alle relazioni tra i rami specialistici e garantisca l'appoggio da parte delle associazioni professionali e di categoria come pure da parte delle scuole tecniche e politecniche. Una commissione composta di rappresentanti delle associazioni, scuole e organizzazioni interessate stabilisce dunque il programma e assicura il coordinamento con le ulteriori attività di promozione delle energie rinnovabili. Le organizzazioni di categoria si sobbarcano l'attuazione dei momenti formativi e informativi. Responsabile dei preparativi è il gruppo direttore del programma (dott. Jean-Bernard Gay, dott. Charles Filleux, Jean Graf, dott. Arthur Wellinger, Irene Wuillemin, UFPC), assistito da Eric Mosimann dell'UFPC. L'elaborazione settoriale è svolta nell'ambito di gruppi di lavoro, cui vengono affidati compiti specifici da attuare entro limiti di tempo e di costi predefiniti.

Documentazione

Il corso di due giorni si suddivide in una giornata teorica e una pratica. Il presente manuale costituisce la documentazione per un tale corso. Manuale e corso sono impostati alla stessa maniera. Le persone partecipanti ritroveranno nel manuale le riproduzioni dei lucidi presentati durante il corso; sotto ogni lucido, a mo' di didascalia, seguono le relative spiegazioni.

La giornata di pratica consente di applicare a un esempio concreto le cognizioni acquisite durante la giornata di teoria. Con l'aiuto di vari moduli fotovoltaici si costruiranno dei campi da misurare, testare e allacciare a un ondulatore. Al termine di questa giornata pratica si eserciterà l'immissione nella rete locale.

La presente documentazione è stata meticolosamente rielaborata dopo la consultazione e un test di applicazione. Ad autrici e autori si è comunque lasciata la libertà di valutare ed eventualmente considerare nella stesura definitiva del testo i diversi punti di vista espressi su una determinata questione. Le lacune che dovessero manifestarsi all'atto dell'applicazione pratica di quanto qui esposto potranno essere corrette in occasione di una prossima edizione: l'Ufficio federale per i problemi congiunturali, chi ha redatto il te-

sto(v. p. 2), ma anche chi anima il corso sono sin d'ora riconoscenti per le vostre osservazioni. Esprimiamo il nostro più sentito ringraziamento a tutte le persone che hanno contribuito alla riuscita di questa pubblicazione.

Agosto 1991

Dott. H. Kneubuhler
Vicedirettore dell'Ufficio
federale dei problemi congiunturali

Indice

	Pagina	
1	Introduzione	11
1.1	Corrente solare: possibilità immense	12
1.2	Struttura del corso	12
1.3	Particolarità degli impianti fotovoltaici	13
1.4	Potenziale in Svizzera	13
1.5	Estetica degli impianti fotovoltaici	13
1.6	Permesso di costruzione	14
1.7	Moduli fotovoltaici	14
1.8	Impianti con immissione nella rete	15
1.9	Prelevamento e immissione	16
1.10	Impianti con immissione nella rete: due esempi	17
2	Basi di meteorologia	19
2.1	Irraggiamento globale = irraggiamento diretto e diffuso	20
2.2	Distribuzione temporale dell' irraggiamento solare	21
2.3	Angolo di incidenza	21
2.4	Angoli di orientamento e di incidenza	23
2.5	Ombreggiamento di impianti fotovoltaici	24
2.6	Distanza tra le file su tetti piani	25
3	Pericoli della corrente continua	27
3.1	Pericolo di formazione d'un arco voltaico	28
3.2	Pericolo di incendio	29
3.3	Corrosione elettrochimica	30
4	Tecnologia delle celle fotovoltaiche	31
4.1	Funzionamento delle celle fotovoltaiche	32
4.2	Struttura dei moduli fotovoltaici	33
4.3	Caratteristiche elettriche dei moduli	34
4.4	Rendimento e temperature delle celle	35
4.5	Modulo fotovoltaico: generatore senza potenza di cortocircuito	36
4.6	Scatola di giunzione e diodo antiparallelo	36
5	Campo fotovoltaico	39
5.1	Campo fotovoltaico: connessione in serie e in parallelo	40
5.2	Connessione in serie di piú moduli fotovoltaici	41
5.3	Connessione in parallelo di piú serie	41
5.4	Conseguenze del sovra- e sottodimensionamento	42
5.5	Piccola ombra - grande perdita,	42
5.6	Ombreggiamento parziale: pericolo per le celle fotovoltaiche	43
5.7	Cassetta terminale: collegamento tra campo fotovoltaico e ondulatore	43
5.8	Esempio di una cassetta terminale	44
5.9	Morsetti	44

5.10	Valvole, diodi	44.
5.11	Scaricatore di sovratensione	44
5.12	Separatore di linea per corrente continua	45
5.13	Montaggio della cassetta terminale	45
5.14	Impianto parafulmine	45
5.15	Protezione esterna dai fulmini,	45
5.16	Protezione interna dai fulmini	45
5.17	Collegamento a terra, protezione dai fulmini	4 6
5.18	Edifici senza parafulmine	46
5.19	Edifici con parafulmine	46
<hr/>		
6	Struttura meccanica di un campo fotovoltaico	47
6.1	Maneggiamento dei moduli fotovoltaici	48
6.2	Aspetti tecnici della scelta della strutture portante	48
6.3	I vari tipi di tetto	48
6.4	Tetto a falde	4 8
6.5	Esempio di strutture portanti per tetti a falde	49
6.6	Impianti su tetti a falde	4 9
6.7	Esempio di montaggio su tetto piano .	50
6.8	Impianti su tetti piani	51
6.9	Impianti di facciata	51
6.10	Cablaggio	51
<hr/>		
7	Ondulatori fotovoltaici	53
7.1	Ondulatori	5 4
7.2	Ondulatori fotovoltaici commutati dalla rete	55
7.3	Ondulatori fotovoltaici con modulazione della larghezza degli impulsi	55
7.4	Ondulatori fotovoltaici con trasformatore ad alta frequenza	56
<hr/>		
8	Prescrizioni	59
8.1	I n t r o d u z i o n e	60
8.2	Come ottenere l'autorizzazione per l'esercizio parallelo di impianti per la produzione di energia (IPE)	60
8.3	Prescrizioni da osservare per l'installazione elettrica di impianti fotovoltaici	63
8.4	Strumentazione di misura e collaudo	64
8.5	Elenco di verifica per la messa in esercizio	66

9	Lavori sui tetti	67
10	Manutenzione	69
10.1	Manutenzione e controlli	70
11	Impianti autonomi	73
11.1	Elementi di un impianto autonomo	74
11.2	Impianti autonomi: ripetitore	75
11.3	Impianti autonomi: approvvigionamento energetico alpino	75
11.4	Impianti autonomi: pompa per piscina	76
11.5	Regolazione di carica / sorveglianza dell'accumulatore / distribuzione	76
11.6	L'accumulatore come riserva di energia	77
11.7	Carica e scarica dell'accumulatore al piombo	77
11.8	Struttura di un accumulatore al piombo	78
11.9	Accumulatore: capacità	79
11.10	Accumulatore: autoscarica	79
11.11	Accumulatore: tensione finale di carica	80
11.12	I quattro <<peccati mortali >> nel manipolare accumulatori al piombo	80
11.13	Ondulatore	80
11.14	Sistema a bassa tensione	81
12	Appendice 1: filo conduttore per le esercitazioni pratiche	83
12.1	Introduzione	84
12.2	Schema dell'impianto fotovoltaico per le esercitazioni pratiche	85
12.3	Misurazioni SUI modulo fotovoltaico.	86
12.4	Struttura del campo fotovoltaico	86
12.5	Allacciamento della cassetta terminale	87
12.6	Allacciamento dell'ondulatore	87
12.7	Allacciamento del quadro elettrico	87
12.8	Messa in esercizio	88
12.9	Indicatore di controllo	88
12.10	Prove	88
12.11	Protocolli di misura	89
13	Appendice II: terminologia	91
13.1	Terminologia generale	92
13.2	Terminologia accumulatore	93
14	Appendice III: esempio di calcolo	95
14.1	Spazio richiesto	96
14.2	Resa energetica annua	96
14.3	Costi e prezzo dell'energia (stato: primavera 1991)	97

15	Appendice IV: domanda di allacciamento ASE	99
<hr/>		
16	Appendice V: nuove prescrizioni ASE/IFCF	103
	Impianti fotovoltaici di produzione dell'energia, IFCF	104
	Obbligo di sottoporre i progetti e di controllo	104
	Concessione d'installazione	105
	Installazione dell'impianto	105
	Protezione dai fulmini, collegamento a terra	107
	Impianti con esercizio parallelo alla rete	107
	Messa in esercizio	108
	Misura dell'energia	108
	Leggi, ordinanze e prescrizioni	108

Introduzione

1.1	Corrente solare: possibilità immense	12
1.2	Impostazione del corso	12
1.3	Caratteristiche degli impianti fotovoltaici	13
1.4	Potenziale in Svizzera	13
1.5	Estetica degli impianti fotovoltaici	13
1.6	Permesso di costruzione	14
1.7	Moduli fotovoltaici	14
1.8	Impianti allacciati alla rete	15
1.9	Prelevamento e immissione	16
1.10	Impiantiallacciati alla rete: due esempi	17

.1.1. Introduzione

1.1 Corrente solare: possibilità immense

In vista dell'abbandono progressivo dei vettori energetici aventi un impatto negativo sull'ambiente, la trasformazione diretta dell'energia solare in elettricità mediante celle fotovoltaiche costituisce una delle opzioni piú promettenti. Gli impianti con queste celle sono semplici da montare, non comportano parti mobili, sono subito pronti a essere attivati, richiedono pochissima manutenzione e sono fatti per durare a lungo.

Tutto il fascino del fotovoltaico sta nel fatto che con questa tecnologia si è riusciti per la prima volta a produrre ingenti quantità di corrente elettrica senza ricorrere a macchine rotanti. L'assenza di quest'ultime è d'altronde ciò che caratterizza la produzione di energia elettrica mediante celle fotovoltaiche rispetto a quella delle centrali convenzionali, dotate di enormi turbine rotanti.

Altrettanto nuovo nella storia della produzione di elettricità è che i costi di produzione della corrente mediante celle fotovoltaiche non dipendono in pratica affatto dalla potenza dell'impianto. Nel caso delle centrali convenzionali, si registra una costrizione a creare impianti di grande potenza al fine di migliorare notevolmente la redditività. Nel settore fotovoltaico, la tecnologia improntata alla modularità mette fine a ciò che finora eravamo quasi tentati di credere una legge immutabile.

In altri termini, ciò significa che i costi di produzione di un impianto fotovoltaico con 3 kW di potenza posato sul tetto di una casa non sono maggiori di quelli causati p.e. da un grande impianto di 500 kW di potenza. Sulla base dell'odierno stato delle conoscenze possiamo per contro addirittura presumere che gli impianti fotovoltaici di dimensioni domestiche producano corrente meno costosa che non quelli di maggiore potenza, realizzati lontano dalle infrastrutture e dagli allacciamenti elettrici già esistenti.

Cio apre l'affascinante prospettiva di ottenere, con impianti domestici di limitata potenza, corrente solare di basso costo (dove il termine di basso costo va riferito al raffronto menzionato sopra tra impianti di grande e di piccola potenza). Rispetto ad altri tipi di produzione della corrente, permangono tuttavia ancora grandi differenze.

Visto che le potenzialità e le possibilità insite nella produzione fotovoltaica di corrente elettrica sono ora riconosciute, l'ulteriore sviluppo e la promozione tecnica possono avvalersi di aiuti pubblici. Questi aiuti

sono tuttora ben lungi dall'essere simili a quelli che gli enti competenti accordano ad altre tecnologie energetiche, ma hanno nondimeno consentito di mettere a punto dei sistemi standardizzati ormai collaudati. L'opera di messa a punto svolta negli ultimi anni in questo campo da alcune ditte pioniere ha portato a far sí che oggi gli installatori siano in grado di posare degli impianti fotovoltaici monofase con una potenza fino a 3 kW senza dover ricorrere all'assistenza di ingegneri progettisti. Questa è dunque una possibilità che si offre direttamente agli specialisti attivi nel settore edilizio e, in modo particolare, agli installatori elettricisti. Con il presente corso ci proponiamo pertanto di considerare questa nuova e affascinante prospettiva, e di formare gli installatori elettricisti affinché siano in grado, nel pieno rispetto delle norme, di posare, mettere in esercizio ed eventualmente fornire l'assistenza tecnica per degli impianti che funzionino in maniera ineccepibile.

1.2 Impostazione del corso

Il corso è destinato anzitutto agli installatori elettricisti che intendono realizzare degli impianti fotovoltaici allacciati alla rete. A simili sistemi, nel corso, e pertanto riservato ampio spazio. In maniera piú limitata, la corsista e il corsista potranno trarre beneficio pure da un'introduzione alle possibilità e ai problemi degli impianti autonomi.

Gli impianti fotovoltaici sono generatori di energia elettrica. In ogni caso, ma in particolare ove si preveda l'immissione di quest'energia nella rete pubblica, v'è tutta una serie di norme e di prescrizioni da rispettare: queste verranno spiegate alle persone partecipanti in modo semplice e comprensibile.

Gli impianti fotovoltaici integrati negli stabili vengono normalmente inseriti nei tetti o, piú raramente, nelle facciate. Ne consegue che gli installatori elettricisti si vedono costretti ad abbandonare l'abituale e sicuro posto di lavoro, e devono imparare a muoversi in un ambiente dove si impongono maggiori misure di sicurezza. Ecco perché non tralascieremo di esporre le principali prescrizioni dell'INSAI riguardo ai lavori sui tetti.

Le necessarie conoscenze sono trasmesse da persone qualificate. Le relazioni vengono illustrate con l'ausilio di lucidi. La documentazione è strutturata come

il corso, e anche la riproduzione dei lucidi con le relative spiegazioni ne rispetta l'ordine di progressione.

1.3 Caratteristiche degli impianti fotovoltaici

Le celle fotovoltaiche producono corrente continua. Per taluni aspetti, gli impianti fotovoltaici si distinguono dunque in modo netto dalle tecniche a corrente alternata finora dominanti nell'impiantistica. Tra le loro particolarità va annoverata tra l'altro una maggiore tendenza

1. alla formazione di archi voltaici: la quale, a sua volta, determina un maggiore rischio di incendio che è bene non sottovalutare;
- 2., a danni da corrosione: dove correnti di fuga attivano elementi galvanici nei punti di contatto;
3. a danni irreparabili in caso di incidenti elettrici: gli incidenti in presenza di corrente continua sono caratterizzati, oltre che da ustioni, dalla decomposizione elettrolitica dei tessuti umani.

Contrariamente alla corrente alternata finora utilizzata nell'impiantistica, in caso di cortocircuito le celle fotovoltaiche non generano una potenza di cortocircuito sufficiente per far reagire le valvole di tipo commerciale. Gli impianti fotovoltaici richiedono dispositivi di sicurezza di altro tipo. Simili impianti producono infatti corrente quando splende il sole; e quando il sole splende, il flusso di corrente nel campo fotovoltaico non può essere facilmente interrotto: non esiste alcun << interruttore principale >> per bloccare l'apporto energetico del sole. Se il sole splende, il potenziale elettrico è presente.

Si può dunque presumere che gli installatori elettricisti desiderosi di approfondire le conoscenze della nuova tecnologia sentano un grande bisogno di informazioni in merito. Tra i propositi di questo corso v'è anche quello di eliminare gli ostacoli nell'approccio alla tecnica sconosciuta. Abbiamo badato a strutturare in modo agevole la documentazione del corso: le spiegazioni particolareggiate che corredano le riproduzioni dei lucidi potranno servire anche più tardi da testo di consultazione. Esse dovrebbero consentire di non commettere errori installando gli impianti. Solo così, infatti, la tecnica fotovoltaica potrà costruirsi sin dal principio la reputazione di essere semplice e di non porre problemi.

1.4 Pootenziale in Svizzera

L'Ufficio federale dell'energia ha pubblicato due studi in cui si dimostra che gli impianti fotovoltaici potrebbero di sopperire a circa il 10% del fabbisogno svizzero di corrente elettrica. Quasi tutto il potenziale riscontrabile sulle superfici inutilizzate degli edifici, sui posteggi, lungo le linee ferroviarie e le autostrade va perso. Un'espansione del mercato provocherebbe un tale aumento del volume di produzione delle celle fotovoltaiche e degli ondulatori da rendere possibili ulteriori drastiche riduzioni dei prezzi. Tuttavia, un simile sviluppo non si attua da sé, ma va promosso. Occorre che vi siano persone dallo spirito pionieristico, capaci di sviluppare la tecnologia e renderla idonea all'immissione nel mercato. Questa fase sta ora fortunatamente concludendosi. D'altro canto occorre pure che vi siano persone dallo spirito pionieristico, capaci di riconoscere il potenziale e le possibilità insite nella tecnologia fotovoltaica e disposte a compiere il primo passo con la costruzione di impianti. Non sarà mai troppo presto per iniziare a realizzare il potenziale. I risultati degli studi dimostrano che ci vorranno circa da trenta a quarant'anni per attuare nel nostro paese le centinaia di migliaia di piccoli e medi impianti che dovrebbero consentire di coprire il summenzionato 10% del fabbisogno nazionale di energia elettrica.

1.5 Estetica degli impianti fotovoltaici

Una casa si compone di moltissimi elementi. A ciascuno di essi il nostro occhio si è assuefatto. Ogni casa ha p.e. una grondaia e un tubo di scarico dell'acqua piovana; quest'ultimo spesso corre lungo la facciata più bella. Tuttavia, l'esistenza di questo vero e proprio corpo estraneo sembra non disturbare nessuno; anzi, l'autorità preposta alla concessione dei permessi di costruzione non accetterebbe il progetto se tale tubo di scarico mancasse.

L'assuefazione dell'occhio e il riconoscimento dell'utilità degli impianti solari contribuiranno anche in questo caso a rendere più accettabili simili sistemi. È probabile che un giorno ogni casa recherà sul tetto un impianto fotovoltaico. Ma prima di giungere a tanto, nell'ambito delle domande di costruzione vi sarà ancora molto da discutere con le autorità competenti e i consessi di tutela delle bellezze paesaggistiche e

urbanistiche. Gli impianti fotovoltaici possono essere non solo belli, ma anche servire la causa della protezione ambientale. Le discussioni tra chi oggi osteggia gli impianti fotovoltaici nel nome della tutela delle bellezze urbanistiche e chi invece li propugna nel nome di una produzione energetica con minimo impatto ambientale finiranno per risolversi a favore della costruzione di simili impianti, se non altro data la situazione in cui ci troviamo.

1.6. Permesso di costruzione

Gli impianti fotovoltaici richiedono un permesso di costruzione. Affinché gli installatori elettricisti possano affrontare serenamente questa fase del lavoro, nel corso discuteremo anche le formalità inerenti alla domanda di costruzione.

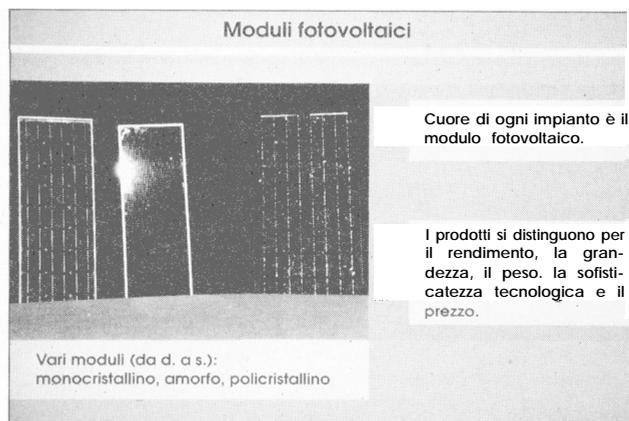
Il presente corso è un'introduzione alle caratteristiche elettrotecniche e alle peculiarità della tecnologia fotovoltaica. Esso non si propone di trasformare gli operatori del settore in <<tuttologi solari >>. Un personaggio di questo stampo dovrebbe infatti disporre di tutte le capacità artigianali richieste, compresa la competenza specifica del copritetto. Agli installatori elettricisti si raccomanda pertanto vivamente di realizzare gli impianti fotovoltaici solo in collaborazione con dei copritetto risp. dei lattonieri convenientemente formati per il lavoro sui tetti. Il tetto del futuro assolve due funzioni:

1. schermo dall'acqua e
2. produce energia elettrica.

Senza copritetto o lattoniere sperimentato manca la garanzia di un collegamento impermeabile e a prova di vento, anche tempestoso, tra l'impianto fotovoltaico e la struttura del tetto.

I lavori da copritetto e lattoniere non verranno spiegati in modo particolareggiato in questo corso, dato che la posa di strutture di fissaggio per i campi fotovoltaici e comunemente contemplata dallo stato della tecnica di questi mestieri. La collaborazione con detto personale specializzato è assolutamente irrinunciabile dovendo affrontare i tetti a falde.

Lucido 1



1

1.7 Moduli fotovoltaici

I moduli fotovoltaici — detti anche moduli o elementi solari — consentono di trasformare direttamente l'energia solare irradiata in corrente elettrica. Allo scopo sono necessari dei semiconduttori di grande superficie, aventi una struttura simile a quelli che si ritrovano in ogni transistor.

Attualmente, per la produzione dei moduli fotovoltaici correntemente commercializzati vengono utilizzati principalmente delle celle di silicio monocristallino, policristallino o amorfo. Questi vari tipi di celle fotovoltaiche sono talvolta molto diverse tra loro per quanto attiene alle caratteristiche elettriche e meccaniche. Le celle monocristalline si ottengono mediante troncamento alla mola da un monocristallo di silicio estratto per rotazione dal silicio fuso. Le celle policristalline si ottengono per contro mediante troncamento alla mola da blocchi colati di silicio.

Le celle amorfe sono prodotte applicando mediante vaporizzazione diversi strati di silicio su di un materiale di supporto. Con ciò, la tecnica di produzione delle celle amorfe si distingue profondamente da quella delle celle cristalline.

Ma la tecnica di produzione e, con essa, le caratteristiche elettriche non costituiscono l'unica differenza tra le celle fotovoltaiche. Anche l'aspetto risulta diverso. Come dice il nome, le celle monocristalline si compongono di lamine tagliate da un unico cristallo: disegno e colore si presentano uniformi, interrotti solo dai contatti elettrici.

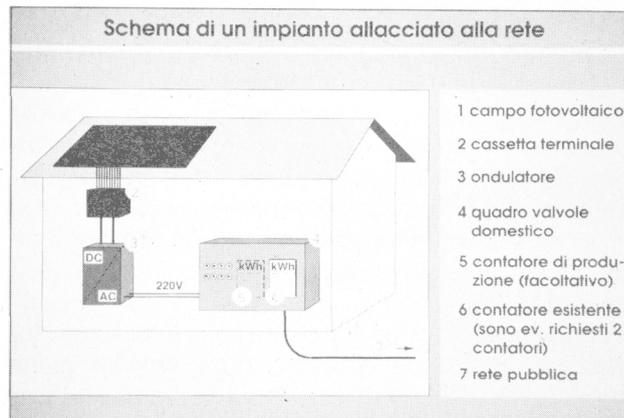
Nel caso delle celle policristalline, la moltitudine di cristalli può facilmente essere riconosciuta lungo i

contorni di giunzione dei singoli grani: il risultato è un aspetto per l'appunto granuloso. Oltre alla moltitudine di cristalli si riconoscono anche qui i contatti elettrici.

La cella amorfa si presenta per contro uniforme nel colore e nella struttura, interrotti solo da minutissimi contatti elettrici. A dipendenza della tecnica di fabbricazione, i toni possono variare.

Per proteggere dagli agenti atmosferici gli strati sensibili che assorbono la luce solare per trasformarla in corrente elettrica, si sigilla il tutto sotto uno strato di vetro. Questa operazione determina in genere anche la forma e la grandezza del modulo fotovoltaico. I moduli attualmente in commercio sono incorniciati entro un telaio di alluminio. È pensabile che al fine di meglio integrare i moduli negli edifici, in un prossimo futuro vengano prodotti modelli privi di una simile in-telaiatura.

Lucido 2



2

1.8 Impianti allacciati alla rete

A prima vista può sembrare insensato di voler collegare i vantaggi dei sistemi energetici decentralizzati con gli svantaggi delle reti di approvvigionamento energetico centralizzate. Siamo infatti prevenuti e inclini a pensare che sarebbe comunque meglio puntare verso la realizzazione di sistemi decentralizzati, indipendenti dalla rete, che assicurino un approvvigionamento energetico autarchico degli edifici. Tuttavia, esistono sufficienti ragioni che rendono interessante l'allacciamento anche di piccoli impianti decentralizzati.

L'avvicinarsi del giorno e della notte, ma anche delle stagioni, fanno sì che l'energia solare non sia disponibile in modo regolare. Per compensare questo svantaggio, volendo mantenere un certo livello di consumo, sarebbero necessari grandi accumulatori. L'allacciamento alla rete elettrica consente di gestire la situazione senza dover ricorrere a un accumulatore interno, sfruttando per così dire la <<capacità di accumulo>> della rete stessa.

In caso di allacciamento, gli apporti di energia non utilizzati subito nell'edificio che li ha captati vengono immessi nella rete, dove sono a disposizione dei vicini che ne abbiano bisogno. La stessa cosa vale anche qualora un produttore di energia si assentasse qualche tempo per le vacanze e non avesse neppure modo di utilizzare la corrente prodotta.

Nel lungo termine, l'allacciamento alla rete dovrebbe consentire di ridurre il carico degli impianti che operano producendo quale effetto collaterale residui nocivi all'ambiente.

Per ogni chilowattora immesso nella rete da un impianto solare, una saracinesca in una centrale idroelettrica arretra per trattenere l'acqua accumulata da usarsi in tempi di maggiore bisogno e minore irraggiamento solare. In uno scenario di grandi dimensioni, dove anche d'estate vengano immesse nella rete notevoli quantità di energia, l'energia solare sostituisce direttamente la corrente prodotta in una centrale termica. Ogni chilowattora immesso d'estate contribuisce dunque indirettamente a far in modo che altrove, p.e. in una centrale a carbone, una saracinesca debba arretrare.

I calcoli mostrano che in questo modo in Svizzera sarebbe realizzabile un 10 % circa di corrente fotovoltaica nella rete di distribuzione. Per il nostro paese questo non rappresenta certo la soluzione di tutti i suoi crucci energetici; nell'ottica di un approvvigionamento energetico sicuro nel lungo termine, ciò rappresenta nondimeno un contributo considerevole e perfettamente compatibile con l'ambiente.

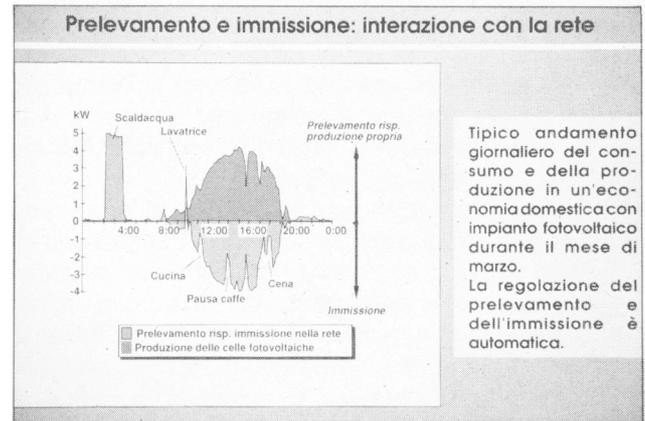
L'allacciamento alla rete crea tuttavia qualche problema per l'impianto fotovoltaico. Le complicazioni sono riconducibili al fatto che, in sede di dimensionamento, occorre minimizzare le influenze reciproche tra impianto e rete. Un'esigenza, questa, oggi ampiamente soddisfatta dai moderni ondulatori, dove i flussi energetici dall'impianto solare alla rete sono regolati mediante microprocessori.

Oltre all'influsso che l'impianto fotovoltaico può esercitare sulla rete distributiva vi sono da considerare i fenomeni di retroazione che la rete, a sua volta, può esercitare sull'impianto. Tali fenomeni possono danneggiare l'impianto e occorre dunque trovare il modo di sopprimerli.

Un impianto allacciato alla rete si compone essenzialmente di quattro semplici subsistemi:

- il campo fotovoltaico, da posare o integrarsi sul tetto o nella facciata di un edificio;
- la cassetta terminale, cui fanno capo le singole parti del campo fotovoltaico;
- l'ondulatore, che trasforma la corrente continua in corrente alternata; e
- il quadro delle valvole (già presente nella casa), in cui viene introdotta la corrente alternata e dove sono montate anche le valvole e un contatore per l'impianto solare.

Lucido 3



3

1.9 Prelevamento e immissione: interazione con la rete

L'interazione tra impianto fotovoltaico, utilizzatori domestici e rete distributive è assai semplice. L'utilizzatore consuma corrente elettrica prelevata dalla rete, senza accorgersi della presenza di un apporto solare. Alla stessa stregua, la corrente fotovoltaica prodotta è immessa nella rete senza che l'ente gestore della rete ne la persona che consuma se ne accorgano.

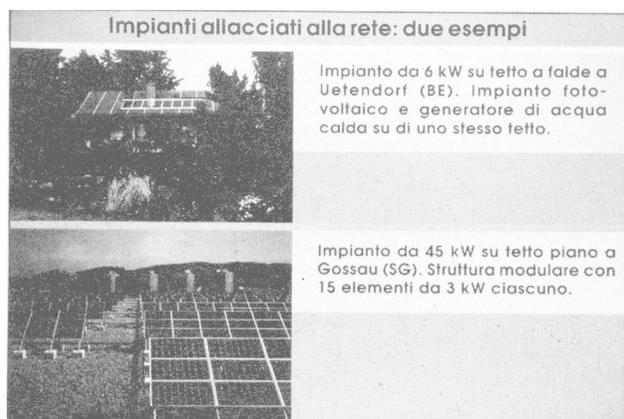
Il grafico illustra un andamento giornaliero sull'arco delle 24 ore. Secondo questo esempio, tra le 2 e le 4 del mattino viene caricato con la corrente lo scaldacqua della casa unifamiliare. Verso le 7.30 si verifica un prelievo di corrente, destinato presumibilmente alla preparazione della colazione. Alle 8 si avvia la produzione da parte dell'impianto fotovoltaico. L'apporto energetico realizzato tra le 8 e le 9 è immesso nella rete. Nel corso della giornata la produzione aumenta gradatamente. L'immissione nella rete è interrotta verso le 10, dove in poco tempo è richiesta molta corrente: possiamo presumere che sia stata avviata la lavatrice. La produzione continua a crescere, poi alle 11.30 ecco un abbassamento della potenza immessa nella rete, riconducibile presumibilmente alla preparazione del pranzo. Per questo impianto, si riconosce inoltre una punta di produzione giornaliera verso le 14.00. Ciò è imputabile al fatto che il campo fotovoltaico è girato di circa 30° verso ovest rispetto all'asse sud.

La regolazione dei prelievi di corrente elettrica e delle immissioni nella rete di energia prodotta con il sole è del tutto automatizzata. I comandi di cui è do-

tato l'ondata provvedono all'osservanza delle norme imposte agli scarti di tensione e di frequenza, e a interrompere l'immissione nella rete qualora dovesse mancare la corrente.

A dipendenza delle aziende elettriche, i flussi di corrente menzionati sopra vengono registrati singolarmente (contatori per il prelievo e l'immissione) o congiuntamente (contatore rotante in avanti o indietro secondo la necessità). Si prevede che nei prossimi anni le aziende elettriche monteranno contatori atti a registrare anche l'energia fotovoltaica prodotta:

Lucido 4



4

1.10 Impianti allacciati alla rete: due esempi

La tecnica degli impianti fotovoltaici collegati alla rete distributiva è ormai a tutta prova. In Svizzera sono circa duecento quelli che già si trovano in esercizio: ciò significa che sono montati stabilmente sui tetti delle case, dove trasformano una parte della luce solare incidente in corrente elettrica. Questa corrente è poi immessa nella rete interna della casa. L'energia non consumata dalla casa è immessa nella rete pubblica.

I due esempi mostrano un impianto di 6 kW e uno di 45 kW. Entrambi si compongono di elementi modulari da 3 kW ciascuno. Ciò dimostra che, mediante un insieme di elementi standardizzati da 3 kW, è possibile realizzare a prezzo contenuto anche impianti di una

certa potenza. Il grande vantaggio di questo sistema è senz'altro ravvisabile nel minimo sforzo progettuale richiesto. Va tuttavia detto che, al momento attuale, non è possibile giudicare in maniera conclusiva se, in caso di introduzione sul mercato di ondulatori di maggiore potenza, sia opportuno immettere nella rete tutta la potenza prodotta dalle celle fotovoltaiche.

La fotografia dell'impianto di Uetendorf mostra che è possibile far convivere moduli fotovoltaici e collettori solari. Terminata la costruzione, sulla villetta riportata nella fotografia vennero dapprima montati i collettori per la preparazione dell'acqua calda; alcuni anni dopo furono aggiunti i moduli fotovoltaici. Benché il tutto non sia stato progettato sin dall'inizio secondo un'idea unitaria, l'esempio sta a dimostrare che con una disposizione invidinata dei moduli sul tetto si può ottenere un risultato più che soddisfacente anche sotto il profilo estetico.

Le sagome degli alberi presenti sullo sfondo, rimandate dai collettori per l'acqua calda e dai moduli fotovoltaici, mostrano che quest'ultimi riflettono assai meno dei collettori, e anche meno dei lucernari o delle finestre che si vedono spesso inserite nelle falde dei tetti. La riflessione della luce solare su di un modulo fotovoltaico può insomma essere paragonata alla riflessione del sole su di un lago. L'immagine riflessa del sole viene percepita come chiazza chiara dai contorni sfumati. Ciò rende palese che il disturbo arrecato dal riflesso del sole ai vicini di casa è del tutto trascurabile. L'esperienza con i circa duecento impianti esistenti nel nostro paese lo confermano. Le buone esperienze fatte con gli impianti fotovoltaici posati sui tetti hanno d'altronde stimolato le autorità a sciogliere parte delle riserve che manifestavano nei confronti delle richieste di autorizzazione a costruire.

Mentre i tetti a falda già presentano un'inclinazione che favorisce la captazione della luce solare da parte delle celle fotovoltaiche, sui tetti piani è necessario posare dapprima delle strutture di supporto: strutture che devono reggere all'azione del vento e delle tempeste. Per minimizzare il carico che ne deriva è necessario suddividere l'impianto in elementi di dimensioni contenute. Ciò permette spesso anche di migliorare le caratteristiche estetiche, dato che l'impianto si vede molto meno o non si vede più del tutto dal basso.

Detti supporti non devono comunque in nessun caso essere fissati mediante viti che attraversino l'involucro impermeabile dell'edificio. Si raccomanda invece

di provvedere al cosiddetto ancoraggio gravitazionale, che prevede l'impiego di pesi dimensionati in modo da assorbire i carichi derivanti dai venti. Anche per il lavoro sui tetti piani è necessario sollecitare la collaborazione di personale specializzato: è infatti l'unico modo per avere la certezza che, al termine della posa, l'involucro del tetto sia ancora perfettamente impermeabile.

2 Basi di meteorologia

2.1	Irraggiamento globale = irraggiamento diretto e diffuso	20
2.2	Distribuzione temporale dell'irraggiamento solare	.21
2.3	Angolo di inclinazione dei moduli fotovoltaici	21
2.4	Angoli di orientamento e di inclinazione	23
2.5	Ombreggiamento di impianti fotovoltaici	24
2.6, .	Distanza tra le file su tetti piani	25

2 Basi di meteorologia

Lucido 5

Irraggiamento globale = irraggiamento diretto e diffuso

Irraggiamento diffuso:

- quando vi sia riflessione dell'irraggiamento solare a causa di nuvole, montagne, laghi ecc.

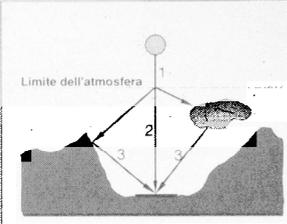
Irraggiamento diretto:

- dipende dall'angolo di incidenza (posizione del sole)
- getta ombre nitide

Irraggiamento totale:

- irraggiamento globale calcolato per una superficie inclinata

Attraverso le nuvole non ci giungono radiazioni dirette ma solo diffuse.



L'irraggiamento globale è formato da:

- 1 radiazioni extraterrestri
- 2 radiazioni dirette
- 3 radiazioni diffuse

5

2.1 Irraggiamento globale = irraggiamento diretto e diffuso

Il Sole è il grande fornitore di energia del nostro pianeta. La temperatura della sua splendente superficie si aggira sui 6000° Celsius. Questa palla di fuoco, indecristibilmente calda, emette energia senza posa.

Una frazione dell'energia irradiata dal Sole colpisce anche la Terra. Poiché questo irraggiamento proviene da una superficie estremamente calda, le particelle luminose hanno un'elevata valenza energetica. Tutto l'insieme dell'irraggiamento solare — il cosiddetto irraggiamento globale — si suddivide in tre componenti:

- le radiazioni dirette costituite dalla luce che ci giunge a fasci paralleli dal Sole,
- le radiazioni celesti diffuse dalle nuvole e dalle particelle di polvere in sospensione,
- le radiazioni riflesse dall'ambiente circostante.

Le radiazioni celesti e le radiazioni riflesse si trovano comunemente riunite sotto il concetto di irraggiamento diffuso. L'irraggiamento diretto e l'irraggiamento diffuso danno insieme l'irraggiamento globale.

Si ha irraggiamento solare diretto quando un oggetto getta un'ombra nitida. L'irraggiamento diffuso, dato che proviene da tutte le direzioni, non getta per contro **n e s s u n a o m b r a**.

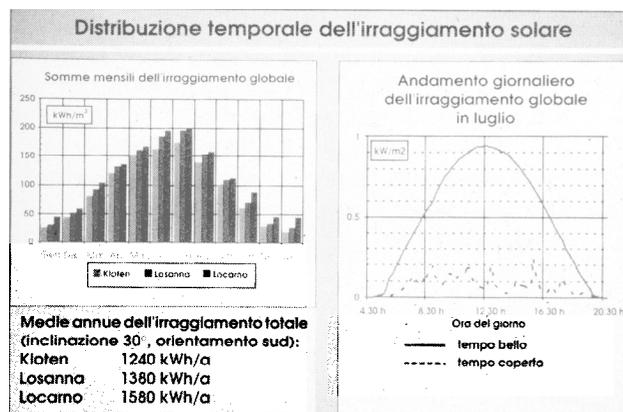
Si parla di irraggiamento globale quando si misura l'insieme delle radiazioni che incidono su di una superficie orizzontale. L'irraggiamento incidente su di una superficie inclinata è detto irraggiamento totale.

In una prima approssimazione, la proporzione dell'irraggiamento diffuso è uguale tanto per le superfici orizzontali quanto per quelle inclinate. Ciò significa p.e. che, durante una giornata nebbiosa, un impianto fotovoltaico debolmente inclinato (p.e. con un angolo di 25°) produce approssimativamente altrettanta energia quanto un impianto fortemente inclinato (p.e. con un angolo di 45°).

La proporzione dell'irraggiamento diretto cambia invece sensibilmente in funzione dell'angolo d'inclinazione della superficie esposta, rispettivamente del modulo fotovoltaico.

Possiamo immaginare le radiazioni solari come un vero e proprio fuoco di fila di particelle luminose, i cosiddetti fotoni. Non tutte queste particelle sono dotate della stessa energia. Una classificazione per energie, rispettivamente per lunghezze d'onda, viene fatta con la rappresentazione dello spettro luminoso dell'energia solare. Laddove l'intensità delle particelle luminose è maggiore — il che corrisponde all'incirca alla lunghezza d'onda del verde — anche l'occhio umano si rivela maggiormente sensibile. Le radiazioni aventi una lunghezza d'onda breve — quali quelle nel campo del blu e dell'ultravioletto — hanno una maggiore contenuto energetico. Le particelle povere di energia si trovano nel campo spettrale che va dal rosso all'infrarosso.

Lucido 6



6

2.2 Distribuzione temporale dell'irraggiamento solare

La Terra ruota una volta il giorno attorno al suo asse. Per gli abitanti dell'emisfero nord, ciò significa che il sole serge la mattina a est, raggiunge l'apogeo a mezzogiorno e la sera tramonta a ovest. Durante il rimanente tempo di rotazione è notte. E proprio qui sta il grande svantaggio per quanto attiene allo sfruttamento dell'energia solare: la sua disponibilità soggiace a grandi variazioni quotidiane.

Nel corso della rivoluzione annuale della Terra attorno al Sole, l'angolo di incidenza di quest'ultimo cambia. Per la nostra latitudine ciò si tramuta nell'avvento delle quattro stagioni. Le notevoli variazioni stagionali che subisce la disponibilità di energia solare costituiscono un'ulteriore svantaggio per il suo sfruttamento.

Nella regione di Zurigo, l'irraggiamento incidente su di una superficie di un metro quadrato orientata a sud e inclinata di 30° ammonta a circa 1240 kWh l'anno. A Losanna sono già 1380 e a Locarno addirittura 1580 kWh l'anno per metro quadrato. La parte sinistra del grafico illustra, mese per mese, quale è la variazione cui è soggetto l'apporto energetico solare nel corso dell'anno. Locarno gode su tutto l'arco dell'anno di un maggiore soleggiamento rispetto a Losanna e Kloten. Rispetto a Kloten, Losanna e per contro favorita durante l'inverno, in virtù di una più frequente assenza della nebbia.

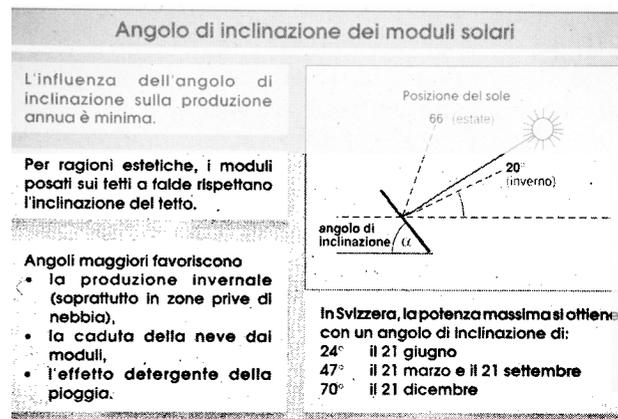
Di interesse si rivela pure l'andamento giornaliero dell'irraggiamento globale. Nella parte destra del grafico sono riportati i valori misurati per la, potenza in

chilowatt il metro quadrato lungo l'arco delta giornata. La linea continua si riferisce all'andamento dell'irraggiamento incidente per una giornata di bel tempo; la linea tratteggiata si riferisce invece a una giornata dal cielo coperto.

La potenza dell'energia solare è indicata in chilowatt (kW). La quantità di energia irradiata in chilowattora il metro quadrato (kWh/m²).

Allacciando l'impianto fotovoltaico alla rete di distribuzione si compensano le variazioni nella disponibilità dell'energia solare. Di giorno si produce spesso più energia di quanta non ne consumi la casa: la differenza va nella rete. Di notte si compensa la potenza mancante prelevando energia da questa stessa rete.

Lucido 7



7

2.3 Angolo di inclinazione dei moduli fotovoltaici

Le persone che amano prendere la tintarella fanno quale angolo d'inclinazione promette maggiore efficacia: d'inverno le sdraio vengono raddrizzate, d'estate si mettono piuttosto piane. La stessa cosa vale per i moduli fotovoltaici: fortemente inclinati d'inverno e debolmente inclinati d'estate captano più energia.

Questa differenza è tuttavia importante solo per la radiazione solare diretta. L'intensità dell'irraggiamento diffuso è invece pressoché indipendente dalla direzione. Da quanto detto sopra, nelle regioni con una forte proporzione di irraggiamento diffuso (zone di nebbia e caligine) possiamo attenderci che l'angolo

di inclinazione dei moduli fotovoltaici non eserciti alcuna influenza di rilievo sulla produzione energetica. Per contro, nelle regioni con un forte irraggiamento diretto (zone di montagna), la produzione di energia e il rapporto tra produzione invernale e produzione estiva sono in stretta relazione con l'angolo di inclinazione.

Per angolo di inclinazione del modulo fotovoltaico intendiamo l'angolo tra un'orizzontale e il modulo stesso. La potenza massima si raggiunge quando l'irraggiamento solare incide perpendicolarmente sul modulo.

Per una cella fotovoltaica orientata a sud ciò si avvera a mezzogiorno qualora siano date le seguenti condizioni: in giugno, l'angolo di inclinazione dovrebbe essere di 24° , durante l'equinozio di primavera e d'autunno di 47° e in dicembre di 70° . Come prova il calcolo su modelli, l'angolo di inclinazione ottimale è di circa 30° a 40° per le regioni dell'Altopiano, e di 35° , a 45° per le regioni soleggiate e di montagna.

Tuttavia, considerando la necessità di ottimizzare le rese energetiche del semestre invernale, soprattutto nelle regioni senza nebbia è opportuno adottare angoli di inclinazione di 45° e oltre. Con ciò non si aumenta purtroppo la produzione annua di energia, ma la quota invernale può conoscere uno sviluppo positivo. I calcoli e le misurazioni hanno infatti dimostrato che, nelle regioni soleggiate e con angoli di inclinazione di 55° a 60° , la quota invernale e quella estiva raggiungono praticamente lo stesso livello (45 % per il semestre invernale e 55% per quello estivo). Stando a quanto esposto sopra, la resa ottimale si conseguirebbe facendo inseguire alle celle fotovoltaiche il sole lungo il suo percorso. Impianti di questo tipo sono in effetti stati realizzati, segnatamente all'estero, in località caratterizzate da una importante quota di irraggiamento diretto. Due sono tuttavia gli svantaggi di cui occorre tenere conto nella valutazione:

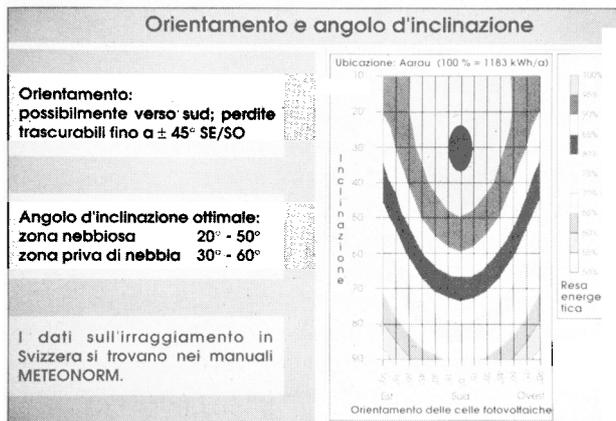
a) L'estetica del campo fotovoltaico ne risulta compromessa, Nel caso dei tetti a falde si raccomanda in particolare di posare i moduli paralleli al piano del tetto: solo così il campo fotovoltaico si integra quale componente omogenea nell'inviluppo edilizio. Occorre tuttavia ammettere che un maggiore raddrizzamento dei moduli rispetto a una falda di debole inclinazione potrebbe aumentare leggermente la resa energetica e migliorare il rendimento invernale. Ma, oltre alla perdita delle qualità estetiche, una simile variante risulta parecchio più costosa: la meccanica di supporto deve infatti assorbire non solo il carico

della neve, ma anche rivelarsi più resistente al carico dei venti.

b) Con l'inseguimento variabile, che consente di adattare l'angolo di inclinazione dei moduli alla mutevole posizione del sole, un sistema che era privo di parti meccaniche mobili si trasforma d'un tratto in un impianto dove le strutture meccaniche mobili sono di nuovo indispensabili. Maggiori costi d'investimento, maggiore logorio e maggiori oneri di manutenzione ne sono le conseguenze.

L'influsso dell'angolo di inclinazione sulla produzione annua è relativamente debole. Si eviti tuttavia di realizzare impianti con angoli minori di 20° , segnatamente affinché la pioggia possa esplicare sulla superficie dei moduli la sua azione detergente. D'altronde, sui moduli a debole inclinazione la neve permane più a lungo che non su quelli a forte inclinazione. Prove di lunga durata effettuate a Davos in collaborazione con l'Istituto federale per lo studio della neve e delle valanghe hanno dimostrato che in presenza di angoli d'inclinazione oltre i 60° la neve scivola verso il basso con qualunque tempo. Ciò vale tuttavia solo per una regione dal clima relativamente secco, come quello di Davos, dove la tendenza alla formazione di cristalli di ghiaccio è minima; nelle regioni prealpine è facile che si verifichino delle situazioni dove anche con un angolo di 60° la neve permane sul modulo: ben conosciute al pubblico sono le fotografie della stazione di misura innevata sulla torre del Säntis.

Lucido 8



.8

2.4 Angoli di orientamento e di inclinazione

Oltre all'angolo di inclinazione, anche l'orientamento verso sud rispettivamente la deviazione dall'asse sud sono fattori che incidono sulla resa energetica di un impianto fotovoltaico. È possibile procedere a una precisa ottimizzazione per qualsiasi ubicazione sia con l'ausilio degli speciali programmi di simulazione, sia con quello dei manuali Meteonorm. I calcoli sono di regola fatti da uffici di ingegneria specializzati. La formula empirica per l'angolo di inclinazione riportata sul lucido 8 viene derivata qui in seguito anche per quanto riguarda l'orientamento.

Mentre con la scelta dell'angolo di inclinazione si vogliono considerare anzitutto le variazioni stagionali dell'irraggiamento solare, l'esigenza di modificare l'orientamento è dettata dal desiderio di inseguire il sole lungo la sua orbita quotidiana. Il sole si leva a est, a mezzogiorno raggiunge l'apogeo, e la sera tramonta a ovest. Un orientamento ottimale presumerebbe che le celle fotovoltaiche fossero rivolte a est la mattina, a sud sul mezzogiorno, e a ovest la sera. E per questo occorrerebbe un dispositivo meccanico capace di far rotare il modulo fotovoltaico. Gli svantaggi legati a questo tipo di meccanica sono uguali a quelli già menzionati a proposito del dispositivo che modifica l'angolo di inclinazione: maggiori investimenti, problemi estetici, maggiori oneri di manutenzione.

Con i dispositivi di inseguimento, una maggiore produzione di energia si consegue solo in località che godono di una forte proporzione di irraggiamento diretto (regioni di montagna). Nelle regioni con nebbie

invernali frequenti e conseguente forte proporzione di irraggiamento diffuso (Altopiano), la spesa per l'inseguimento non è pagante.

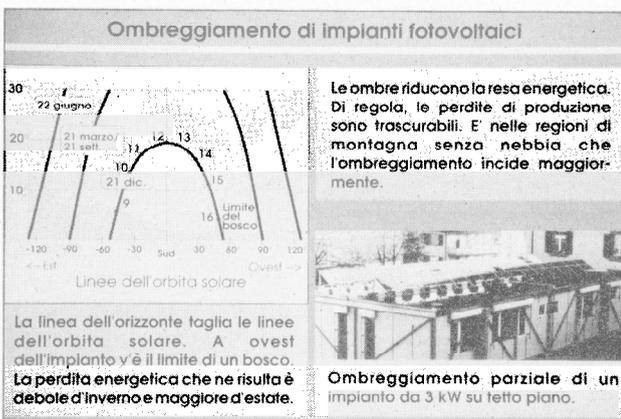
Nel caso dei supporti fissi, la migliore resa energetica è assicurata dall'orientamento verso sud. Le condizioni reali costringono tuttavia spesso ad accettare compromessi che si scostano dall'optimum. Il colmo dei tetti non sempre corre da est a ovest, sicché le falde non sempre sono orientate perfettamente a sud. Fortunatamente, le deviazioni rispetto alla posizione ideale non hanno ripercussioni eccessive sulla resa energetica di un impianto fotovoltaico. Sono dunque ammissibili degli scarti di $\pm 45^\circ$ rispetto all'asse sud, senza che la produzione di energia ne soffra sensibilmente.

L'angolo di orientamento è conosciuto anche come angolo azimutale o semplicemente azimut. In topografia esso corrisponde all'angolo rilevato tra la direzione nord e la proiezione sulla Terra del raggio solare incidente. Nella collana dei manuali Meteonorm e, in maniera generale, nel campo dello sfruttamento dell'energia solare, per azimut si intende l'angolo di deviazione dall'asse sud. Con un orientamento a est, l'angolo è dunque di -90° ; l'orientamento a sud da un angolo di 0° ; e l'orientamento a ovest porta a un angolo di $+90^\circ$.

Le perdite in termini di resa energetica dovute alla deviazione dall'angolo di orientamento e di incidenza ideale possono essere stimate con l'ausilio del grafico riportato sul lucido 8. I parametri sui due assi sono l'orientamento risp. la sua deviazione dalla direzione sud e l'angolo di inclinazione (tra i 10° e i 90°). Un angolo di inclinazione di 90° è quello di un modulo posato su di una facciata verticale. Il grafico permette di stimare la percentuale d'irraggiamento rispetto al valore ottimale per qualsiasi inclinazione e orientamento. Vi si riconosce p.e. che un orientamento del tetto di 45° verso est e un'inclinazione di 60° promettono di conseguire delle rese tra l'80% e l'85% del valore massimo (il massimo si ottiene con un orientamento a sud e un'angolo di inclinazione di 30°). Il grafico venne elaborato per i dati rilevati ad Aarau; per la precisione, varrebbe solo per delle ubicazioni che presentino la stessa frequenza di giornate nebbiose e le stesse caratteristiche di irraggiamento di Aarau. Esso dimostra nondimeno che proprio nelle regioni a forte nebbia le perdite rispetto a impianti ottimali in termini di orientamento e inclinazione (angolo di 30°) sono relativamente modeste. La produzione energetica subirebbe per contro perdite massicce qualora si volessero realizzare impianti verticali (di facciata) che si scostino fortemente dall'asse sud.

Una stima piuttosto attendibile può essere elaborata seguendo lo speciale procedimento presentato nella collana Meteororm. I manuali Meteororm — pubblicati espressamente all'attenzione dei progettisti solari da parte dell' Ufficio federale dell'energia a Berna — consentono di calcolare in maniera relativamente facile, per ogni comune svizzero, le condizioni di irraggiamento per qualsiasi orientamento e qualsiasi angolo di inclinazione. Questa documentazione è reperibile presso: Infosolar, casella postale 311, 5200 Brugg.

Lucido 9



9

2.5 Ombreggiamento di impianti fotovoltaici

Oltre alle variazioni temporali dell'irraggiamento solare dovute alla rivoluzione della Terra su sé stessa e attorno al Sole, e oltre ai fattori climatici che determinano le condizioni meteorologiche, v'è un altro problema da affrontare: quello dell'ombreggiamento degli impianti fotovoltaici. L'ombreggiamento parziale del campo fotovoltaico ha un influsso determinante sulla potenza momentanea che l'impianto è in grado di erogare.

La Svizzera non è un deserto piatto, dove una casa isolata sarebbe esposta dalle prime alle ultime ore del giorno al sole. La resa subisce una prima riduzione a causa dell'orizzonte che trattiene la luce solare. Ben noti ci sono gli esempi dei villaggi volti a bacio o sul fondovalle e che, durante i lunghi mesi invernali, non vedono un raggio di sole: << è un buco >>, dice

la gente di essi. In questi luoghi, in ogni momento della giornata, l'orizzonte è più alto del sole. È chiaro che in simili condizioni, soprattutto d'inverno, la resa energetica sarà più che modesta.

La stima, se l'orizzonte riduca o no la resa, richiede un calcolo un po' più impegnativo. Il grafico riportato sul lucido 9 mostra il percorso dell'orbita solare per il solstizio d'inverno (21 dicembre), per gli equinozi di primavera (21 marzo) e d'autunno (21 settembre), e per il giorno più lungo dell'anno (21 giugno). L'esempio mostra una linea d'orizzonte, quale fu rilevata per un impianto sito in prossimità del limite di un bosco. Dai dati emerge che l'orizzonte si situa al di sotto dei 10° lungo tutto l'arco che si estende da est a sud e fino a circa 50° a ovest. Solo con un orientamento ancor più fortemente indirizzato verso ovest si vede salire rapidamente la linea dell'orizzonte. Si può dunque presumere che durante i mesi invernali la resa dell'impianto non sia pregiudicata dall'orizzonte, mentre per la primavera e l'estate v'è da prevedersi un ombreggiamento. In questo esempio, il calcolo ha mostrato che, per l'impianto considerato, le perdite energetiche imputabili all'orizzonte sono modeste.

Come regola, è bene fare in modo che nel campo di $\pm 45^\circ$ attorno all'asse sud l'angolo di elevazione dell'orizzonte sia minore di 15°. In questo caso, le perdite energetiche saranno sempre relativamente deboli. In presenza di un orizzonte alto occorre essere prudenti: in tal caso è opportuno studiare con precisione l'entità delle perdite cui potrebbe essere soggetta la produzione..

Per rilevare con accuratezza la linea dell'orizzonte dobbiamo anzitutto avere uno strumento di misura: può essere un costoso teodolite, oppure anche un semplice strumento a mano, dato che la tecnica solare non richiede una precisione eccessiva. Poi dobbiamo recarci in prossimità della futura ubicazione dell'impianto fotovoltaico e orientare lo strumento verso est. Quindi misuriamo, sulla verticale, l'angolo corrispondente all'altezza dei monti. A intervalli di circa 10° a 20° ci spostiamo con l'apparecchio verso sud, misurando ogni qualvolta il corrispondente angolo. Otteniamo così la linea di ombreggiamento. Questo modo di procedere potrebbe rivelarsi necessario solo qualora le montagne circostanti facessero presumere un prolungato ombreggiamento dell'impianto. Nel caso di edifici esistenti, la padrona o il padrone di casa sanno di regola perfettamente quando si alza il sole e in che misura le montagne limitano la durata dell'irraggiamento. Per le regioni senza nebbia, possiamo considerare ammissibile un irraggiamento diretto dei moduli di almeno quattro ore nel mese di dicembre.

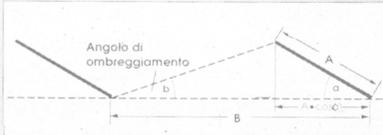
Un ombreggiamento ben maggiore è spesso determinato dalla presenza di altri edifici o, di alberi nelle vicinanze. Nessuno degli impianti sin qui realizzati può dirsi assolutamente libero da simili ombre in ogni momento della giornata. Un calcolo preciso delle perdite determinate da queste ombre risulta assai impegnativo. Di regola è comunque sufficiente una stima. Anche qui, la padrona o il padrone di casa conoscono certamente assai bene le condizioni di soleggiamento del loro tetto e l'effetto delle ombre lanciate dagli edifici e dagli alberi circostanti. Queste informazioni sono generalmente sufficienti per stimare le possibili perdite. Particolare cautela è richiesta laddove l'impianto è ombreggiato in inverno tra le 10 e le 14, risp. in estate tra le 7 e le 17; per contro, l'ombreggiamento mattutino o serale incidono solo minimamente sulla resa energetica.

Lucido 10

Distanza tra le file su tetti piani

$$B = A \cdot \frac{\sin(180^\circ - \alpha - \beta)}{\sin \beta}$$

α angolo di inclinazione
 β angolo di ombreggiamento
 A dimensioni del modulo
 B distanza tra le file



Attenzione disponendo i moduli fotovoltaici a file su tetti piani:

- Quanto maggiore è la distanza tra le file, tanto minore è l'ombra il mattino, la sera e d'inverno --> maggiore resa energetica.
- La distanza tra le file risulta dalla formula empirica "angolo di ombreggiamento": circa 18° o meno (angolo tra il bordo inferiore della fila retrostante e il bordo superiore della fila antistante).
- Indice di occupazione tra 0,3 e 0,4 (esempio: tetto piano di 100 m² --> superficie dei moduli di 30 a 40 m²).

10

2.6 Distanza tra le file su tetti piani

Sui tetti piani o in pieno campo, i moduli fotovoltaici vengono disposti a file. Mentre la prima fila viene di regola irraggiata integralmente, è difficile evitare che le file successive non siano in qualche modo ombreggiate dalle file antistanti quando il sole è basso, ossia la mattina e la sera, ma anche d'inverno. Come formula empirica si tenga presente quanto segue: l'angolo di ombreggiamento β tra il bordo inferiore della fila retrostante e il bordo superiore della fila antistante dovrebbe essere al massimo 18°. Angoli minori, p.e. 15°, sono da preferirsi ovunque il tetto sufficientemente grande consente di optare per una maggiore distanza tra le file. Sul lucido, l'angolo di ombreggiamento (che corrisponde all'innalzamento sopra la linea dell'orizzonte) è contrassegnato dalla lettera β . Quando l'angolo di inclinazione α come pure quello d'ombreggiamento β sono stabiliti, un semplice calcolo permette di ottenere la distanza richiesta tra le singole file.

Per la posa delle file di moduli fotovoltaici su tetti piani ci si può attenere a un paio di formule empiriche:

- a) Quanto più le file sono distanziate, tanto meno v'è da temere che possano ombreggiarsi la mattina, la sera e nei mesi invernali. Il pericolo di ombreggiamento reciproco non deve essere sottovalutato: di regola è assai più frequente che non l'ombreggiamento determinato dall'orizzonte.

- b) Per l'angolo di ombreggiamento β è opportuno non superare il limite massimo di 18° . Se la superficie del tetto a disposizione è ristretta, si consiglia (soprattutto sull'Altopiano e in altre regioni nebbiose dove le rese invernali sono comunque limitate) di ridurre anzitutto l'angolo di inclinazione del campo fotovoltaico da p.e. 35° a 30° ; con ciò si riduce anche l'effetto dell'ombreggiamento reciproco.

Se, a causa della mancanza di spazio, le file non possono essere sistemate a sufficiente distanza le une dalle altre, un ombreggiamento delle file retrostanti diventa pressoché inevitabile. Ciò riduce la produzione, soprattutto d'inverno. In questo caso si consiglia di realizzare il cablaggio elettrico in maniera da far sì che i moduli fotovoltaici più bassi si trovino raccordati nella stessa stringa, giacché la fila antistante li ombreggerà contemporaneamente. I moduli sovrastanti, irraggiati dal sole, potranno invece dare il loro pieno contributo energetico.

3 Pericoli della corrente continua

3.1	Pericolo di formazione d'un arco voltaico	28
3.2	Pericolo di incendio	29
3.3	Corrosione elettrochimica	30

3 Pericoli della corrente continua

Trasformando l'energia delle particelle luminose, le celle fotovoltaiche producono una tensione elettrica continua. Se si chiude il circuito elettrico, ne consegue una corrente continua. È importante capire che, sotto vari aspetti, la corrente continua produce effetti diversi dalla corrente alternata. Obiettivo del presente capitolo è di attirare l'attenzione degli installatori elettricisti — che hanno acquisito la padronanza del mestiere nel campo della corrente alternata — sulle specifiche caratteristiche della corrente continua. Tra tali caratteristiche salienti v'è l'accresciuto pericolo di formazione di un arco voltaico e, associato a esso, un pericolo d'incendio che non deve essere sottovalutato. Se la corrente continua fluisce attraverso un punto di contatto tra metalli diversi o uguali, nel punto di contatto (premessi che sia circondato da un elettrolito quale p.e. l'umidità) si verifica un drastico aumento dell'effetto corrosivo. In pochissimo tempo possono così sorgere danni da corrosione che, senza la corrente continua, avrebbero richiesto anni prima di danneggiare o distruggere taluni elementi. Sul corpo umano, la corrente continua esplica inoltre effetti devastanti ben diversi da quelli della corrente alternata.

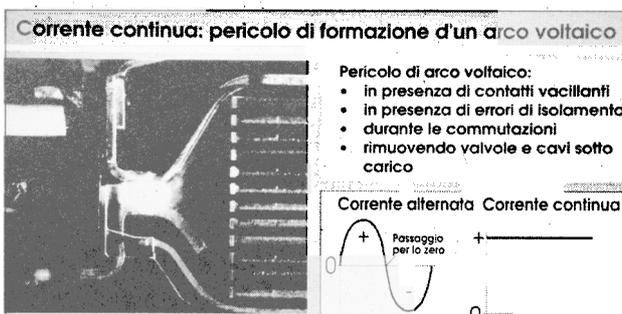
Nel XVIII secolo, al pubblico delle feste barocche, le scariche elettriche dell'ambra e di altri elementi venivano presentate a titolo di curiosità: <<le scintille che escono da un corpo vivo costituiscono il grande diletto delle dame e dei cavalieri >> si legge in uno scritto tramandatoci. Queste scariche elettriche, nonostante le loro tensioni alte, di alcune migliaia di volt, sono del tutto innocue perché associate a correnti debolissime. Laddove la corrente aumenta, il pericolo per le persone si fa maggiore. Gli effetti della corrente continua e della corrente alternata sul corpo umano sono diversi. Le correnti alternate di oltre 20 mA possono indurre un cambiamento del ritmo cardiaco. Se il muscolo cardiaco è stimolato dai 50 Hz a una successione di contrazioni così rapida da far sí che subentri la, cosiddetta <<fibrillazione cardiaca>>, l'azione di pompaggio del cuore si arresta. Se il flusso della corrente viene interrotto, la fibrillazione cessa e la condizione è reversibile purché nell'ambito dell'intervento sanitario si pratichi lo specifico massaggio. Le correnti continue, per contro, generano nel corpo processi elettrochimici assai più intensi, segnatamente nel sistema nervoso. Correnti di una certa intensità provocano inoltre ustioni. Gli impianti che operano con una tensione continua minore di 50 V, per principio, non rappresentano un pericolo. In presenza di tensioni oltre i 120 V è indispensabile predisporre specifiche misure protettive.

Si ricordi che la luce diurna all'alba e al tramonto, ma anche durante una giornata coperta, può rivelarsi sufficiente per generare nell'impianto fotovoltaico la piena tensione d'esercizio. Procedendo al cablaggio di impianti fotovoltaici occorre essere estremamente prudenti, giacché la tensione d'esercizio è pressoché sempre presente.

Il montaggio di moduli fotovoltaici è di regola eseguito in piena giornata: il cablaggio del campo fotovoltaico avviene pertanto sotto tensione, e ciò in modo molto reale e non solo figurato.

Lucido 11

Corrente continua: pericolo di formazione d'un arco voltaico



Pericolo di arco voltaico:

- in presenza di contatti vacillanti
- in presenza di errori di isolamento
- durante le commutazioni
- rimuovendo valvole e cavi sotto carico

Corrente alternata **Corrente continua**

Passaggio per lo zero

Circuiti a corrente continua: speciali interruttori con dispositivo di spegnimento delle scintille preven-gono la formazione di intollerabili archi voltaici.

Corrente alternata: il passaggio per lo zero spegne da sé l'arco voltaico
Corrente continua: non esiste nessun passaggio per lo zero, nessuno spegnimento --> rischio accresciuto

11

3.1 Pericolo di formazione d'un arco voltaico

Tra conduttori sotto tensione regna un campo elettrico. La forza di questo campo aumenta con l'aumento della tensione e la riduzione della distanza tra i conduttori. Se la distanza tra i conduttori diventa molto piccola, l'aria che si trova frammezzo risulta ionizzata dal forte campo. In presenza di corrente alternata, il campo si modifica 100 volte il secondo e scompare al passaggio per lo zero. In presenza di corrente continua, per contro, l'effetto ionizzante è ininterrotto: il pericolo che si fermi un'arco voltaico è molto maggiore. Per le applicazioni usuali della corrente continua, ciò non ha un grande peso, perché la formazione di un'arco voltaico presenta le caratteristiche di un cortocircuito. In tal caso, entrano in azione gli interruttori di protezione dalle sovracorrenti, quali le valvole di sicurezza. In un campo fotovoltaico queste valvole non

ci sono neppure, per il semplice fatto che la corrente di cortocircuito è uguale alla corrente di esercizio, cosicché le valvole non sarebbero neppure in grado di identificare un cortocircuito.

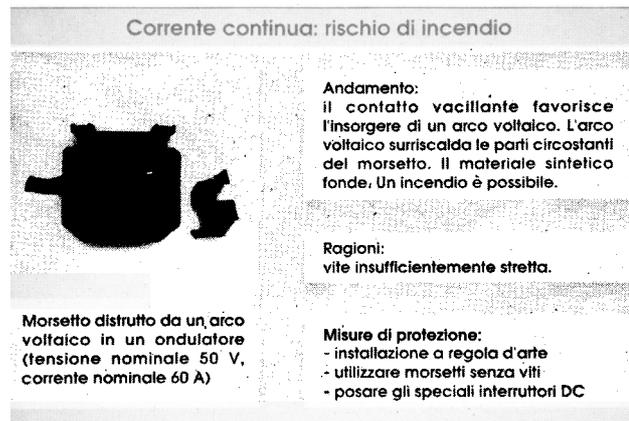
Per maggiore chiarezza, ricapitoliamo: con la corrente continua si corre un rischio molto maggiore di veder formarsi un arco voltaico. Date le caratteristiche specifiche delle celle fotovoltaiche (fonti di corrente elettrica), non è possibile interrompere mediante normali valvole la corrente che va a formare l'arco voltaico.

L'arco voltaico raggiunge temperature di alcune migliaia di gradi Celsius. Le parti metalliche conduttive fondono, l'isolamento circostante brucia, l'arco voltaico avanza lungo l'isolamento e i conduttori. Non avremo mai abbastanza ripetuto quanto è reale questo pericolo. I lavori di installazione di un impianto fotovoltaico esigono che si presti estrema attenzione.

Il pericolo che si formi un'arco voltaico è particolarmente forte in presenza di contatti vacillanti, di carenze nell'isolamento, durante i processi di commutazione, dovendo levare le valvole sotto carico, e durante il cablaggio del campo fotovoltaico con circuito elettrico chiuso.

Il lucido 11 presenta un arco voltaico in un interruttore con dispositivo di spegnimento delle scintille. La speciale disposizione dei contatti costringe l'arco voltaico al momento dell'apertura dell'interruttore a entrare in uno spazio, le cosiddette camere di spegnimento, dove viene soffocato.

Lucido 12



12

3.2 Pericolo di incendio

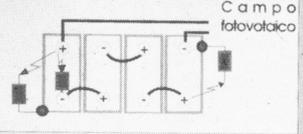
Una volta che in un impianto solare esposto in pieno sole si è formato un arco voltaico, v'è una grandissima probabilità che subisca dei danni. Nell'esempio appena menzionato, la causa era di poco conto: in un circuito a corrente alternata ci sarebbero probabilmente voluti anni prima che si giungesse a una sensibile perturbazione dell'esercizio; nel peggiore dei casi si sarebbe prodotta un'interruzione della corrente e, cercando il punto difettato, la causa non sarebbe stata difficile da scoprire. Le particolari caratteristiche dei moduli fotovoltaici e della corrente continua hanno invece fatto sicché un contatto vacillante producesse un piccolo arco voltaico. Questo fece bruciare il punto di contatto, e ciò finì per rafforzare l'arco voltaico. Un simile arco, in un campo fotovoltaico esposto in pieno sole, può tramutarsi in un'incredibile fonte di calore. La plastica che protegge il morsetto inizia a fondersi, l'isolamento del cavo adduttore inizia a bruciare. Nell'esempio menzionato, l'errore venne scoperto per caso prima che bruciasse anche l'ondulatore.

Uno dei maggiori impianti del mondo — della potenza di oltre un megawatt — ha preso fuoco a seguito di un arco voltaico venutosi a creare tra la conduttura positiva e quella negativa in uno degli edifici che ne accolgono le strutture. In presenza di una potenza a corrente continua di un megawatt si forma un arco voltaico di indicibile contenuto energetico. Questo ha dato fuoco in un baleno a tutto l'edificio. L'insieme dell'impianto di trasformazione e sorveglianza è andato distrutto.

Lucido 13,

Corrosione elettrochimica

C a m p o fotovoltaico

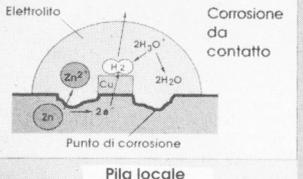


La corrosione elettrochimica può insorgere negli impianti fotovoltaici a causa di:

- correnti di dispersione che a seguito p.e. dell'umidità presente tra i poli positivo e negativo si creano sulla terra del modulo.
- corrosione da contatto a seguito della formazione di una pila locale.

Correnti vaganti

Corrosione da contatto



Provvvedimenti:

- proteggere il punto di contatto elettrico dall'umidità.
- evitare i collegamenti meccanici tra metalli aventi dei potenziali standard molto diversi.
- verniciature protettive, galvanizzazioni.

Pila locale

13

3.3 Corrosione elettrochimica

Nel punto di contatto tra due metalli diversi, se vi penetra l'umidità, può formarsi un elemento galvanico. La corrente che allora si instaura causa la cosiddetta corrosione da contatto.

La corrosione è una distruzione del metallo dovuta a trasformazione chimica, e prende avvio alla superficie. Affinché si produca corrosione elettrochimica occorrono almeno tre premesse:

- a) una pila locale che deve essere formata da due metalli diversi,
- b) un collegamento conduttivo tra i due metalli, e
- c) un elettrolito che entri in reazione chimica con il metallo formando degli ioni. Non occorre che il punto di contatto a rischio sia immerso in una grande quantità di liquido; è sufficiente la presenza di una pellicola di umidità, come quella che nella normale atmosfera si crea a seguito della condensazione.

La rapidità con cui si produce la corrosione è determinata dall'elettrolito. Se l'aria è salmastra, gli elementi si corrodono più rapidamente. Questo spiega anche perché, in prossimità del mare o d'inverno quando si sparge sale sulle strade, la corrosione è assai più pronunciata,

Se poi alla causa prima, data dalla differenza di potenziale dei due metalli, viene ad aggiungersi una corrente continua dall'esterno, l'iniziale velocità di reazione elettrochimica può moltiplicarsi per 100.

Per prevenire la corrosione elettrochimica di impianti fotovoltaici bisogna proteggere dall'umidità i punti di contatto e, nel caso degli impianti a corrente continua non collegati a terra, bisogna controllare regolarmente il dispositivo di protezione contro le dispersioni verso terra, ammesso che sia presente.

4 Tecnologia fotovoltaica

4.1	Funzionamento delle celle fotovoltaiche	32
4.2	Struttura dei moduli fotovoltaici	33
4.3	Caratteristiche elettriche dei moduli	34
4.4	Rendimento e temperature delle celle	35
4.5	Cella fotovoltaica: generatore senza potenza di cortocircuito	36
4.6	Scatola di giunzione e diodo antiparallelo	36

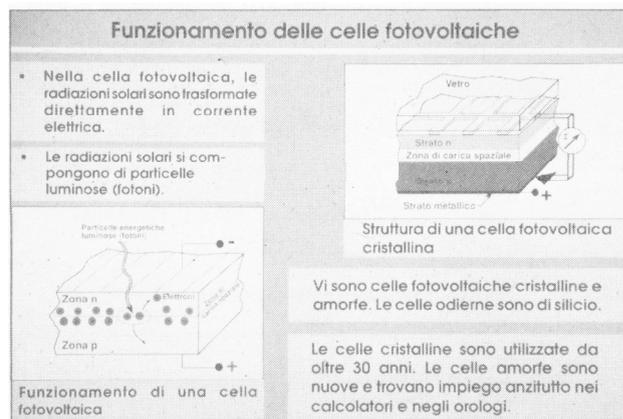
4 Tecnologia fotovoltaica

Le celle fotovoltaiche costituiscono il cuore delle centrali solari. Data la loro speciale struttura sono in grado di trasformare direttamente — ossia senza l'intervento di trasformatori meccanici — l'energia della luce in corrente elettrica. Oltre al loro funzionamento, presenteremo qui anche la struttura e le caratteristiche elettriche dei moduli fotovoltaici.

La cella fotovoltaica è un prodotto tipicamente industriale. La fabbricazione degli elementi solleva questioni assai complesse. Ma non appena l'elemento è imballato e pronto per la consegna, non vi è più da temere alcun problema sul cantiere.

Ancora oggi, le celle fotovoltaiche risp. i moduli interi sono fabbricati con un grande apporto di lavoro manuale. Un'unità di produzione di celle ricorda più un'azienda artigianale che non un'industria automatizzata d'avanguardia. Si prevede comunque che anche questa produzione manuale finirà per integrarsi in un processo industriale ampiamente automatizzato. E allora anche i prezzi delle celle fotovoltaiche subiranno un'altra drastica caduta. La rapidità di una simile evoluzione dipende non da ultimo dall'entità dei contributi promozionali che gli enti pubblici sono disposti a versare a favore dello sviluppo di questa tecnologia, come d'altronde già fecero per lo sviluppo di altre tecnologie energetiche.

Lucido 14



14

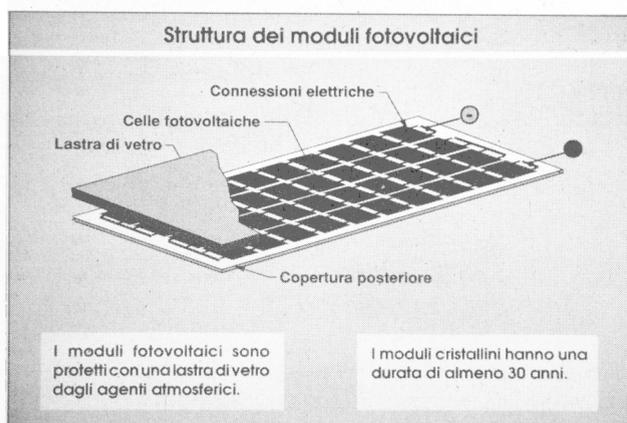
4.1 Funzionamento delle celle fotovoltaiche

Oggi, molte tecniche diverse consentono di trasformare l'energia delle particelle di luce in corrente elettrica. Ci possiamo immaginare l'energia solare come un vero e proprio fuoco di fila di piccole particelle luminose, i cosiddetti fotoni. Quando una particella luminosa cade nella cella fotovoltaica su di un atomo e ne è assorbita, in virtù dell'energia che emette diventa capace di sbalzare l'elettrone dalla sua precedente orbita. Questo elettrone è dunque libero. Data la struttura delle celle fotovoltaiche, nella regione di transizione tra i vari strati viene a crearsi un campo elettrico che attira l'elettrone in questione.

Nel caso di una cella fotovoltaica con strati a drogaggio p e n, il campo elettrico interno si crea nella zona di transizione proprio perché i due strati hanno caratteristiche diverse. Simili caratteristiche sono la conseguenza di leghe a base di silicio purissimo drogate con atomi estranei in debolissima concentrazione. Il drogaggio p corrisponde all'inserimento di atomi di boro nel legame atomico di silicio; il drogaggio n corrisponde all'inserimento di atomi di fosforo. Nella zona di transizione tra i due strati diversamente drogati viene a crearsi il campo elettrico summenzionato. Se ora la luce cade su questa cella fotovoltaica, vi si creano delle coppie cariche di energia: lacune (o buche) positive ed elettroni negativi. Se le coppie portatrici di una carica riescono a raggiungere il campo elettrico senza ricombinarsi (ossia senza unirsi, neutralizzandosi a vicenda), il campo elettrico le separa. Gli elettroni si muovono verso il lato frontale dello stra-

to a drogaggio n, vengono raccolti da una griglia metallica a pettine e procedono verso il circuito a corrente continua esterno. Le lacune si muovono verso lo strato a drogaggio p e adducono in questo modo il loro contributo a una corrente che fluisce nel circuito verso la grata frontale attraverso il contatto metallico che riveste l'intera superficie posteriore.

Lucido 15



15

4.2 Struttura dei moduli fotovoltaici

La cella fotovoltaica vera e propria si compone di uno strato sottilissimo di silicio, in cui si svolge la trasformazione della luce solare in corrente elettrica. Questo delicato strato cristallino deve essere protetto dagli influssi ambientali, quali le sollecitazioni meccaniche e l'azione corrosiva dell'aria. I moduli a celle cristalline fabbricati oggi si compongono di regola di più celle, connesse solitamente in serie e aventi una dimensione di circa 10 x 10 cm. Tale insieme di celle deve poi essere confezionato in modo che:

- risulti protetto in maniera ottimale dagli influssi degli agenti atmosferici, pur
- consentendo alla luce solare di passare indisturbata, affinché l'energia che essa contiene possa essere efficientemente utilizzata per produrre corrente elettrica.

Per i moduli fotovoltaici da installarsi negli impianti stazionari, quale copertura anteriore si è imposto

l'uso del vetro. Questo materiale permette alla luce solare di raggiungere la cella fotovoltaica con perdite di solo qualche punto percentuale; nel contempo offre una protezione durevole dei moduli.

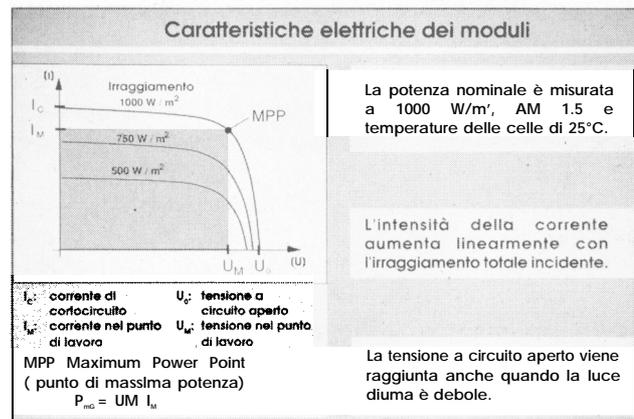
Per evitare che il lato posteriore delle celle sia deteriorato dall'umidità e dagli agenti atmosferici, vi si applica una pellicola di materiale sintetico (solitamente tedlar) oppure una lastra di vetro. Allo scopo di riunire in maniera stabile e duratura i tre strati —copertura di vetro anteriore, celle fotovoltaiche, copertura protettiva posteriore— se ne fa un robusto laminato ricorrendo a uno speciale procedimento. Per congiungere le parti si utilizza di preferenza una massa sintetica, una pellicola di etinilvinilcloruro (EVA). Un danneggiamento degli strati protettivi non solo può pregiudicare la funzionalità, ma anche determinare una drastica riduzione della durevolezza.

I vari strati sono sovrapposti a mo' di panino imbottito. La loro successione, considerate dal lato esposto al sole, si presenta come segue: vetro quale strato di copertura superiore, una pellicola di EVA, le celle fotovoltaiche, un sottile reticolo di vetro quale strato di evacuazione dell'aria, e infine, posteriormente, sia una pellicola sintetica in tedlar oppure di nuovo uno strato di vetro. Il processo di lavorazione si svolge solitamente così: in uno speciale laminatoio si evacua anzitutto l'aria racchiusa tra i singoli strati, e questo affinché una volta terminata l'operazione di laminatura le delicate celle fotovoltaiche siano esposte a un minimo di influenze corrosive. Terminato il processo di evacuazione, il tutto è riscaldato a circa 150° e si comprimono insieme leggermente i due lati, superiore e inferiore. Sotto l'azione del calore, la pellicola sintetica che si trova frammezzo cola e va a riempire tutti i pori e le cavità tra le celle e i conduttori di collegamento; il successivo rapprendimento la rende limpida, e dunque trasparente alla luce solare.

Un punto critico del procedimento è dato dagli allacciamenti elettrici che devono essere fatti uscire dal modulo. I fabbricanti di moduli hanno sviluppato per questo delle speciali tecniche di allacciamento, capaci di garantire che né l'umidità né le molecole di aria possano penetrare lungo i conduttori di alimentazione. Nel caso dei moduli con copertura sintetica, si perfora sul retro la pellicola sintetica per far uscire i conduttori. I conduttori positivo e negativo sono condotti nella scatola di giunzione su morsetti. Le scatole di giunzione sono solitamente incollate sul lato posteriore del modulo. Un'ulteriore sigillatura di tali scatole con una speciale pellicola sintetica impedisce in ampia misura alle sostanze corrosive dall'aria di penetrare verso le celle.

Nel caso dei moduli vetro-vetro, gli allacciamenti sono solitamente fatti uscire sul bordo del modulo stesso. Questa soluzione non pone alcun problema per il modulo in quanto tale, ma ha spesso lo svantaggio di pregiudicare la rigidità dielettrica rispetto al telaio di metallo in cui è racchiuso il modulo stesso. La rigidità dielettrica di un modulo è data dalla resistenza di isolamento tra una delle due parti conduttrici e il telaio di alluminio in cui sono rispettivamente racchiuse altre strutture metalliche di fissaggio, del modulo che fossero collegate a terra. Le specificazioni internazionali stabiliscono di regola una tensione di prova pari a due volte la tensione a circuito aperto del campo più 1000 V. La problematica della tensione di prova è essenzialmente legata al tipo di costruzione degli allacciamenti dei conduttori positivo e negativo, e delle scatole di giunzione. Di regola, si può tuttavia presumere che i prodotti noti abbiano superato le prove e che la rigidità dielettrica sia data. Nel caso delle celle al silicio amorfo, che per ora non hanno ancora trovato largo impiego negli impianti energetici stazionari, lo strato delle celle fotovoltaiche è applicato direttamente, durante il processo di fabbricazione, sulla lastra di vetro frontale. Il lato posteriore di queste celle semplici viene protetto dagli influssi ambientali sia mediante uno strato di vernice, sia mediante una seconda lastra di vetro.

Lucido 16



16

4.3 Caratteristiche elettriche dei moduli

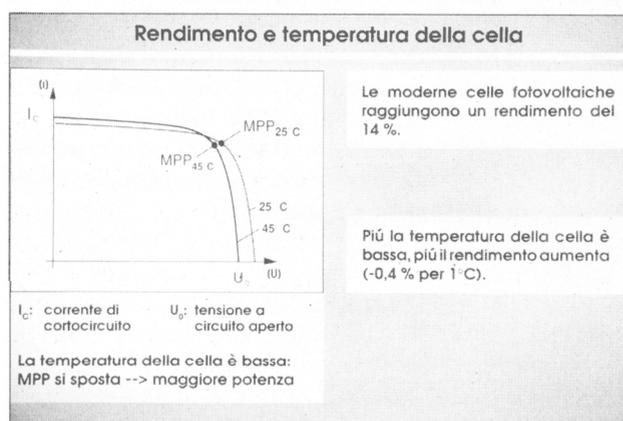
L'effetto fotovoltaico crea anzitutto una tensione continua sui morsetti positivo e negativo delle celle. Solo al momento in cui viene allacciato un carico esterno si stabilisce un flusso di corrente continua. A dipendenza dell'intensità dell'irraggiamento, della temperatura delle celle fotovoltaiche e della caratteristica del carico allacciato si produrrà una tensione d'esercizio e una corrente d'esercizio. Tra i molteplici stati d'esercizio in cui una cella fotovoltaica fornisce energia, vi è anche uno stato di corrente e tensione in cui questa cella fornisce la massima potenza possibile. Il compito importante affidato agli ingegneri solari e di progettare l'impianto in modo che le celle risp. i moduli e l'intero campo fotovoltaico si trovino a lavorare possibilmente sempre a questo livello di massima potenza.

Gli ondulatori reperibili oggi sul mercato sono perciò di regola dotati di un <<maximum power tracker>>: un inseguitore della massima potenza, che regola il flusso di corrente in modo da far sì che il prodotto di tensione e corrente in provenienza dal campo fotovoltaico sia sempre al punto massimo.

Le caratteristiche elettriche del generatore solare sono di regola rappresentate mediante una curva caratteristica di corrente-tensione: nel sistema di coordinate, sull'asse orizzontale è iscritta la tensione, su quello verticale la corrente della cella fotovoltaica. A questo proposito sono da notarsi alcune particolarità:

- Se dalla cella fotovoltaica non esce alcuna corrente, sull'asse orizzontale si ha la tensione a circuito aperto U_0 della cella, la quale dipende anzitutto dalla temperatura della cella stessa, e in seconda approssimazione dall'irraggiamento del momento.
- Se gli allacciamenti della cella o del modulo fotovoltaico vengono cortocircuitati, sull'asse verticale si ha la cosiddetta corrente di cortocircuito I_C .
- Tra gli stati d'esercizio <<circuito aperto>> e <<cortocircuito>> vi sono un'infinità di condizioni di carico, dove i valori della corrente e della tensione si aggiusteranno in funzione della curva caratteristica della cella fotovoltaica. Se la cella è esposta a un carico tale da fornire la tensione U_{max} e la corrente I_{max} , allora la potenza erogata è al suo massimo ($P = U_{max} * I_{max}$).
- Se l'irraggiamento diminuisce, si riduce anzitutto la corrente fotovoltaica disponibile. La relazione tra corrente di cortocircuito e irraggiamento è in pratica lineare.
- Se la temperatura delle celle fotovoltaiche diminuisce, allora aumenta la tensione a circuito aperto. La caratteristica corrente-tensione si sposta verso destra e la potenza disponibile aumenta. In altri termini, il riscaldamento fa diminuire la potenza. E dunque importante che all'atto dell'installazione si badi a fare in modo che i moduli risultino ventilati in maniera ottimale sul lato posteriore.

Lucido 17



17

4.4 Rendimento e temperature delle celle

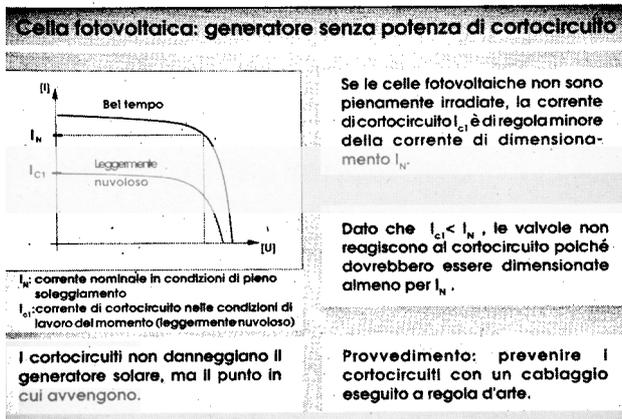
La potenza nominale massima che una cella fotovoltaica può fornire nel <<maximum power point>> (MPP) è raggiunta con un'intensità dell'irraggiamento solare incidente in maniera verticale di 1000 W/m^2 , una temperatura della cella stessa di 25°C e uno spettro solare di AM 1,5. La grandezza AM 1,5 indica la lunghezza geometrica che la luce solare attraverserebbe qualora incidesse obliquamente nell'atmosfera terrestre. AM = 1 significa che il sole è verticale rispetto alla superficie terrestre, sicché il cammino che deve compiere attraverso il manto di aria è minimo. Se la luce incide di sbieco, deve attraversare una massa d'aria maggiore nel manto atmosferico terrestre e ciò comporta perdite di energia solare. L'attenuazione non è tuttavia la stessa per tutte le lunghezze d'onda. La definizione AM 1,5 si riferisce a uno spettro solare assai specifico, stabilito anche attraverso una norma. In questo caso si parla di una potenza nominale in condizioni standard di prova (<<STC - standard test conditions>>).

Accanto alle indicazioni STC si trovano spesso dati siglati NOCT (<<normal operating cell temperature>>, ossia temperatura d'esercizio normale della cella). Questa indicazione corrisponde alla temperatura che il modulo fotovoltaico assumerebbe nelle condizioni ambientali seguenti: 800 W/m^2 con luce incidente perpendicolarmente, una velocità del vento di 1 m/sec e una temperatura ambientale di 25°C . Tipici valori NOCT si aggirano sui 45° a 48°C . Ciò significa che le celle vere e proprie si riscalderebbero fino a

circa 45° a 48°C qualora il modulo fosse esposto alle condizioni ambientali summenzionate.

Di regola, fabbricanti e fornitori di celle fotovoltaiche danno una garanzia d'esercizio di 10 anni sui moduli. A dipendenza del prodotto, questo dato è associato a uno scarto della potenza di $\pm 10\%$. In tutte le lettere, ciò significa che il modulo fotovoltaico avente una potenza nominale di 50 W deve fornire ancora almeno 45 W di potenza elettrica dopo 10 anni.

Lucido 18,



18

4.5 Cella fotovoltaica: generatore senza potenza di cortocircuito

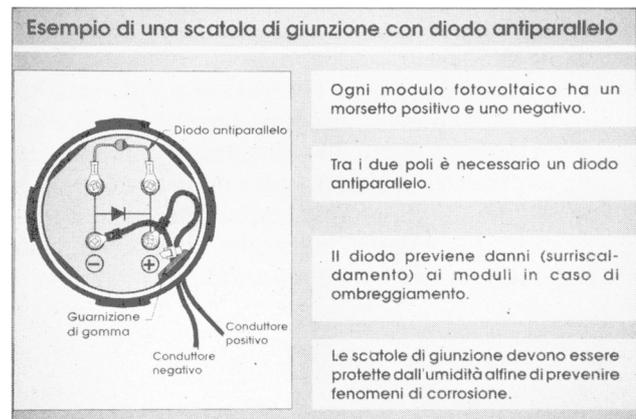
Dovunque venga creata tensione elettrica risp. essa sia data dal cablaggio, v'è pericolo di cortocircuito. In un generatore normale, in caso di cortocircuito, la corrente di cortocircuito aumenta a un multiplo della normale corrente nominale. Questa elevata corrente di cortocircuito è interrotta nell'elettrotecnica mediante valvole o dispositivi automatici di sicurezza. L'azionamento di tali elementi di sicurezza è assicurato dalla corrente di cortocircuito stessa.

Una cella fotovoltaica costituisce una novità nel suo modo di produrre energia elettrica. Nuovo è il fatto che, in condizioni di irraggiamento massimo, la corrente di cortocircuito viene a trovarsi solo un 10 % sopra la corrente nominale. Se il sole non splende con 1000 W/m² perpendicolarmente sopra il campo solare — ed e quanto capita di solito — la corrente di cortocircuito è addirittura minore della corrente nominale.

Con ciò è chiaro che tutti gli elementi di sicurezza convenzionali sono destinati a fallire: il generatore solare non è in grado di fornire la necessaria potenza di cortocircuito.

Nuovo è anche il fatto che, per la cella fotovoltaica, il cortocircuito costituisce addirittura una modalità d'esercizio lecita. In simili condizioni, la cella non soffre alcun danno. In caso di cortocircuito tra due conduttori, essa continuerà a fornire la corrente di cortocircuito corrispondente alla luce solare incidente. Se nel punto del cortocircuito si produce un arco voltaico, questo costituisce un serio pericolo di incendio. Il solo modo con cui si possano prevenire simili situazioni consiste nell'eseguire il cablaggio rispettando tutte le regole dell'arte.

Lucido 19



19

4.6 Scatola di giunzione e diodo antiparallelo

Il modulo fotovoltaico dispone di un morsetto positivo e di uno negativo da dove parte l'ulteriore cablaggio. Nel corso dello sviluppo della tecnica fotovoltaica sono stati messi a punto molti tipi di scatole di giunzione. In presenza delle scatole in uso oggi sono bene badare che:

- gli allacciamenti vengano condotti nella scatola dal basso, affinché l'acqua non possa penetrarvi lungo i cavi;
- vi sia spazio sufficiente per allacciare correttamente i cavi;

- vi sia spazio sufficiente per un diodo antiparallelo;
- le viti di allacciamento si trovino ben salde nella loro posizione e non possano essere girate facilmente, affinché la cella fotovoltaica risulti sempre collegata elettricamente in modo ineccepibile con il morsetto di allacciamento;
- un coperchio protegga le persone da qualsiasi "contatto inavvertito. Di regola, l'esecuzione della scatola dovrebbe essere tale da permetterne l'apertura solo con l'aiuto di uno strumento; ciò è particolarmente importante in presenza di tensioni d'esercizio elevate.

Il diodo tra il polo positivo e quello negativo viene connesso in senso antiparallelo (anodo del diodo sul meno del modulo fotovoltaico; catodo del diodo sul più del modulo fotovoltaico). Il diodo previene il riscaldamento risp. la distruzione dei moduli fotovoltaici in caso di ombreggiamento parziale.

È assolutamente necessario prevenire che nella scatola di giunzione penetri dell'acqua. In presenza di un deposito di acqua si produce molto rapidamente una corrosione tra le parti che conducono la corrente. Ma già la sola umidità può causare notevoli danni da corrosione. Per questa ragione, le scatole di giunzione devono essere concepite in modo tale da non consentire all'umidità di penetrarvi.

I diodi antiparallelo sono sempre indispensabili. In taluni moduli sono preinstallati; per talaltri sono forniti in aggiunta o devono essere acquistati separatamente.

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

5 Campo fotovoltaico

5.1	Campo fotovoltaico: connessione in serie e in parallelo	40
5.2	Connessione in serie di più moduli	41
5.3	Connessione in parallelo di più stringhe	41
5.4	Conseguenze del sovra- e sottodimensionamento	42
5.5	Piccola ombra - grande perdita	42
5.6	Ombreggiamento parziale: pericolo per le celle fotovoltaiche	43
5.7,	Cassetta terminale: collegamento tra campo fotovoltaico e inverter	43
5.8	Esempio di una cassetta terminale	44
5.9	M o r s e t t i	44
5.10	Valvole, diodi	4 4
5.11	Scaricatore di sovratensione	4 4
5.12	Separatore di linea per corrente continua	4 5
5.13	Montaggio della cassetta terminale	45
5.14	Impianto parafulmine	,45
5.15	Protezione esterna dai fulmini	45
5.16	Protezione interna dai fulmini	45
5.17	Collegamento a terra, protezione dai fulmini	46
5.18	Edifici senza parafulmine	4 6
5.19	Edifici con parafulmine	46

5 Campo fotovoltaico

Per campo fotovoltaico si intende l'insieme di tutti i moduli elettricamente e meccanicamente collegati in modo da formare un'unità.

Il numero dei moduli da connettersi in una fila varia a dipendenza dell'entità della tensione di entrata nell'ondulatore. Occorre comunque tenere presente che la massima tensione a circuito aperto possibile del campo fotovoltaico può essere circa 1,5 volte maggiore della tensione d'esercizio (chiamata anche tensione nominale).

Detta massima tensione a vuoto possibile del campo fotovoltaico determina anche i requisiti che deve soddisfare la rigidità dielettrica del cablaggio e dei moduli. Essa corrisponde a due volte la tensione a circuito aperto più 1000 V. Se p.e. la tensione d'esercizio di un impianto fotovoltaico di 3 kW e di 100 V, in presenza di temperature esterne basse e un buon irraggiamento di 1000 W/m² bisogna calcolare con una tensione a circuito aperto fino sui 150 V. La tensione di collaudo per il cablaggio e i moduli si calcola poi con la formula $2 \times 150 + 1000 = 1300$ V.

Qualora la stringa di moduli venisse connessa in parallelo, basta sommare i singoli contributi di corrente. In caso di cortocircuito o dispersioni verso terra possono insorgere varie correnti vaganti, capaci di generare degli archi voltaici e, pertanto, provocare degli incendi. Nell'esecuzione di tutti i lavori è assolutamente indispensabile concentrare l'attenzione su un cablaggio a regola d'arte.

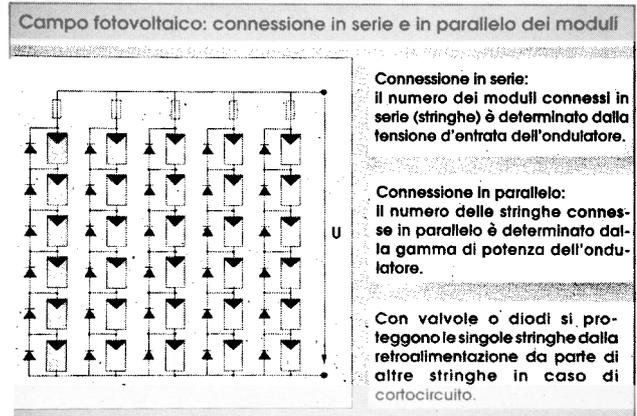
Se i generatori fotovoltaici sono installati su un tetto esistente (sopra il piano del tetto), per il tetto ne risultano dei carichi supplementari, determinati sia dal peso dei moduli e dei corrispettivi telai e supporti, sia dal possibile carico indotto dal vento.

Il carico supplementare di circa 15 kg per m² di superficie dei moduli non dovrebbe di regola superare il 15% del carico per il quale venne dimensionata la struttura del tetto.

I carichi indotti dal vento possono tuttavia essere notevoli e devono essere considerati al momento di dimensionare le strutture di appoggio e portanti. Ovviamente, nel calcolo dell'infrastruttura va ritenuto pure il peso supplementare della neve.

Un campo fotovoltaico è esposto alla luce solare e risulta perciò solitamente molto in vista. Si consiglia dunque di badare a un'appropriata integrazione nell'insieme della costruzione edile: segnatamente, nel caso dei tetti a falda, rinunciando per motivi estetici a dare al campo un'inclinazione diversa da quella del tetto esistente e, nel caso dei tetti piani, rinunciando a installare supporti troppo alti e optando invece per delle strutture più contenute.

Lucido 20

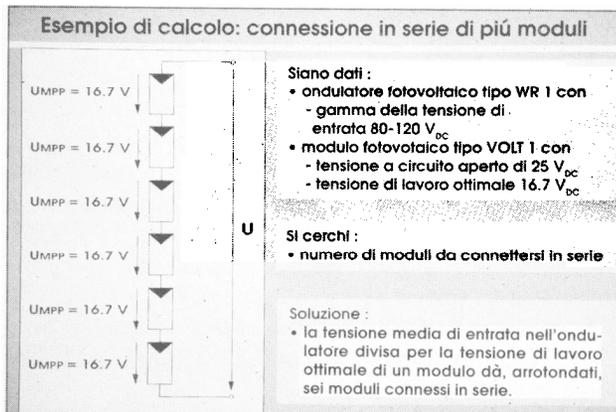


20

5.1 Campo fotovoltaico: connessione in serie e in parallelo dei moduli

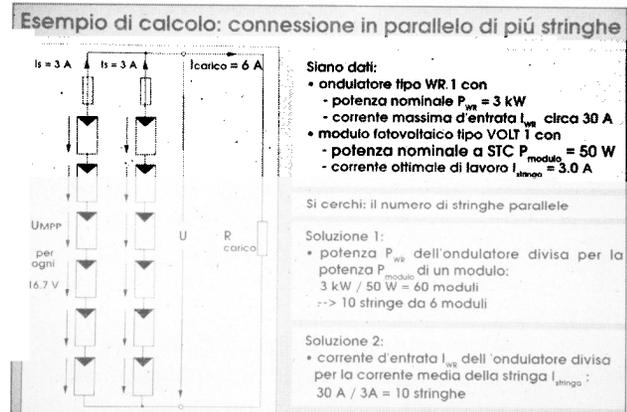
La connessione elettrica tra i moduli fotovoltaici può essere di due tipi: in serie o in parallelo.

Lucido 21



21

Lucido 22



22

5.2 Connessione in serie di piú moduli

Se i moduli fotovoltaici sono connessi tra di loro in serie, le tensioni dei singoli moduli si sommano. La connessione in serie si ottiene allacciando il polo negativo del primo modulo con il polo positivo del secondo modulo. Il numero di moduli che possono essere connessi in serie dipende dalla tensione d'esercizio dell'ondulatore. Per ogni ondulatore è sempre indicata una gamma per la tensione d'entrata: p.e. da 80 a 120 V. Con i moduli dell'esempio summenzionato potremmo dunque essere indotti a connetterne in serie solo cinque o magari addirittura sette. Ma dato che la tensione dei moduli varia molto in funzione della temperatura delle celle, occorre assolutamente fare attenzione di dimensionare la tensione d'esercizio degli elementi connessi in serie sulla base della tensione media dell'ondulatore (ossia circa 100 V). Altrimenti si corre il rischio di veder disinserirsi automaticamente l'ondulatore dalla rete, sia per sotto- sia per sovratensione. La tensione dei moduli si modifica per contro solo in modo del tutto trascurabile con il mutare dell'intensità dell'irraggiamento. Al fine di stabilire il numero dei moduli non è perciò necessario considerare le diverse intensità di irraggiamento condizionate dalle diverse ubicazioni.

5.3 Connessione in parallelo di piú stringhe

Se le stringhe o i moduli sono connessi in parallelo, le correnti si sommano, mentre la tensione delle stringhe o dei moduli stessi rimane uguale. La connessione in parallelo di singoli moduli si ottiene allacciando tra di loro i poli uguali, ossia positivo con positivo risp. negativo con negative. Il numero di stringhe da connettersi in parallelo dipende dalla potenza risp. dall'intensità della corrente all'entrata dell'ondulatore. Su ogni ondulatore, accanto alla potenza nominale, è indicata sempre anche la corrente massima ammessa all'entrata. Con ciò è data la possibilità di calcolare il numero delle connessioni in parallelo in funzione della corrente massima d'entrata.

La corrente delle celle aumenta in maniera lineare con l'intensità dell'irraggiamento. Quest'ultimo, a sua volta, dipende dai parametri dell'impianto, dai fattori meteorologici e dalle condizioni marginali dettate dalla geografia. Se un campo fotovoltaico avesse un orientamento sfavorevole e, per di piú, si trovasse in una regione di forti nebbie, la grandezza del campo stesso risp. il numero di stringhe parallele dovrebbe essere aumentato. Un impianto con un orientamento ottimale ubicato in montagna al di sopra del limite delle nebbie può per contro essere dimensionato in modo piú contenuto.

5.4 Conseguenze del sovra- e sottodimensionamento

Se il campo fotovoltaico è sovraddimensionato, si possono raggiungere condizioni di sovracorrente, sovratensione o temperatura eccessiva dei sistemi di raffreddamento dell'ondulatore, cosicché questo si disinserisce automaticamente dalla rete. Gli ondulatori moderni sono dotati di dispositivi elettronici di regolazione che, in questi casi, permettono di abbandonare il punto di lavoro ottimale al fine di prevenire il superamento dei valori limite.

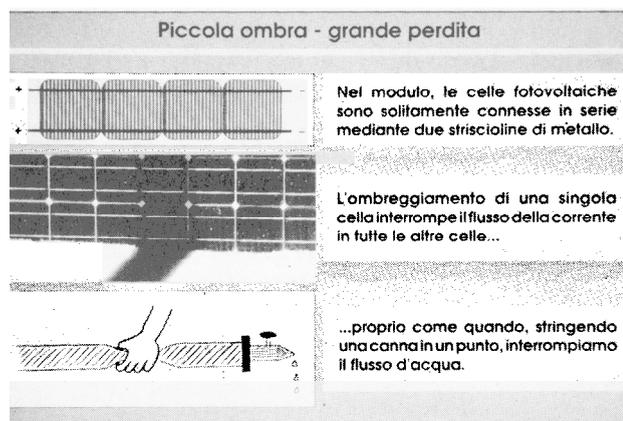
Se un impianto è sottodimensionato, in caso di nebbia e maltempo i criteri d'inserimento assai spesso non sono raggiunti. Sull'arco di un anno, ciò determina una considerevole perdita di energia, dato che l'ondulatore non può lavorare.

Un esempio analogo ci è fornito dall'allacciamento consecutivo di sei pompe di acqua. Con ogni pompa aggiuntiva la pressione complessiva aumenta. La parte di acqua convogliata dalla prima pompa deve per forza passare attraverso le altre pompe, anche se in questo modo la pressione non fa che aumentare dopo ciascuna pompa. Se una sola pompa in un simile sistema si blocca, interrompe tutto il flusso d'acqua. Non volendo che, in un simile caso, il lavoro delle altre pompe sia pregiudicato, ogni pompa deve essere allacciata a una valvola by-pass. Se una pompa si bloccasse, l'acqua potrebbe almeno fluire attraverso il by-pass, anche se poi la pressione complessiva risulterebbe minore che non quando tutte le pompe lavorano a pieno regime.

Qualcosa di simile succede anche con la connessione in serie dei moduli fotovoltaici. Se un solo modulo risulta ombreggiato, ciò riduce la produzione complessiva di corrente. I diodi by-pass (detti anche diodi antiparalleli) servono a prevenire un arresto completo, del flusso di corrente. Inoltre, il diodo by-pass impedisce al modulo ombreggiato di diventare un consumatore e di riscaldarsi. Non solo la connessione in serie dei moduli, ma anche la connessione in serie delle celle ha per conseguenza, secondo la descrizione appena fatta, di provocare, in caso di ombreggiamento parziale di una o più celle una drastica riduzione del flusso complessivo attraverso la stringa. Prendendo un esempio concreto, il fenomeno è come quello della canna dell'acqua: anche se la parte terminale della nostra canna è intatta e pronta ad convogliare l'acqua all'uso cui è destinata, basta che noi comprimiamo la canna in un punto, perché tutto il flusso si interrompa.

L'ombreggiamento parziale non si lascia ovviamente sempre eliminare. A volte basta che nelle vicinanze vi sia un comignolo o un'altro edificio. Nella situazione reale è pressoché impossibile evitare che un impianto non sia ombreggiato anche solo parzialmente a determinate ore del giorno. Tanto più importante è non dimenticare di montare a regola d'arte i diodi antiparalleli summenzionati nella scatola di giunzione.

Lucido 23



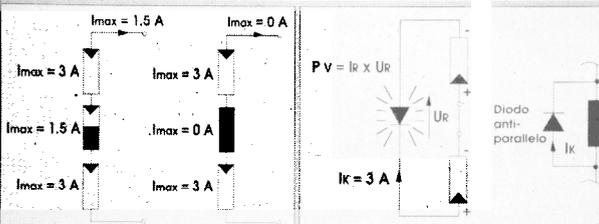
23

5.5 Piccola ombra - grande perdita

Negli impianti fotovoltaici allacciati alla rete, i moduli vengono connessi in serie al fine di raggiungere la tensione d'esercizio richiesta. Dovendo p.e. raggiungere una tensione d'esercizio di 100 V, si connettono in serie 6 moduli, come è illustrato dal lucido 23. Ma ciò significa che un elettrone prodotto nel primo modulo deve attraversare tutti i sei moduli prima di poter aggiungere il suo contributo alla corrente della stringa.

Lucido 24

Ombreggiamento parziale: pericolo per le celle fotovoltaiche



In prima approssimazione, la quantità di corrente fornita da una stringa di moduli è determinata dalla quantità di corrente fornita dal modulo più debole.

Se un modulo è ombreggiato, assume le caratteristiche di un diodo in posizione di blocco. Il modulo agisce come un utilizzatore e si riscalda.
Rimedio: diodo antiparallelo su ogni modulo.

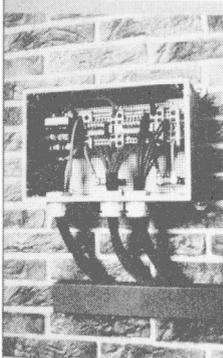
$P_V = I_r \times U_r$

Diodo anti-parallelo

24

Lucido 25

Cassetta terminale: collegamento tra celle e ondulatore



Funzione: interfaccia elettrico tra stringhe di moduli fotovoltaici e ondulatore.

Specificazione:

- ogni stringa a un morsetto +/-
- per ogni conduttore in uscita una valvola e/ o un diodo
- un separatore tra cella e cavo principale

Tra il più e il meno si collega ogni volta a terra uno scaricatore di sovratensione.

La cassetta deve essere sufficientemente grande perché il cablaggio possa essere eseguito a regola d'arte e la manutenzione ne sia facilitata.

25

5.6 Ombreggiamento parziale: pericolo per le celle fotovoltaiche

Per proteggere i moduli dalla distruzione dovuta all'ombreggiamento, ciascuno di essi viene connesso con un diodo antiparallelo. In presenza di ombra, la corrente di serie degli altri moduli può passare attraverso questo diodo. Qui la normale tensione di +17 V si riduce a -1 V. I rimanenti moduli connessi in serie tentano quindi di compensare la caduta, aumentando il loro contributo alla tensione. In virtù della caratteristica I-U (caratteristica tensione-corrente), ne risulta una minore corrente di serie. In questo caso, il prodotto di tensione e corrente è sempre inferiore a quello conseguibile nel punto di lavoro ottimale. Un modulo ombreggiato riduce insomma non solo il proprio contributo di potenza, ma anche quello degli altri moduli interconnessi in serie.

5.7 Cassetta terminale: collegamento tra campo fotovoltaico e ondulatore

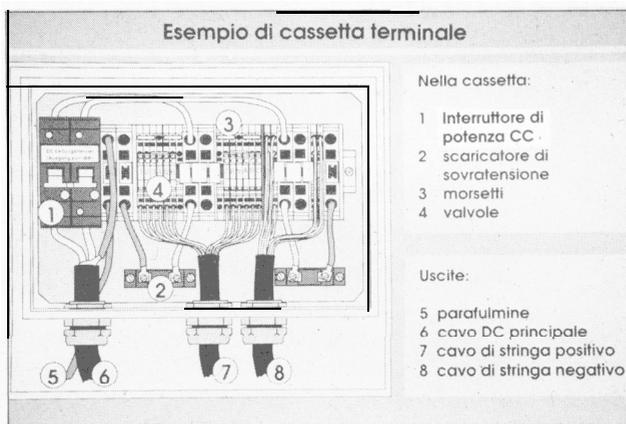
Al momento in cui i moduli fotovoltaici vengono fissati meccanicamente, si provvede anche al cablaggio. Si creano così molte stringhe. I poli positivo e negativo di una stringa vengono condotti nella cassetta terminale. La cassetta funge da interfaccia tra stringhe di moduli e ondulatore, e riunisce d'altro canto anche, le molte stringhe parallele in un'unica conduttura positiva-negativa. Ogni stringa va protetta con una valvola contro la retroalimentazione (in caso di cortocircuito) da parte di altre stringhe. Le valvole non devono essere cambiate sotto carico. Il collegamento con l'onduatore dovrebbe essere reso sicuro mediante un interruttore di linea.

Le valvole sulle stringhe servono a proteggere la sezione del conduttore di una stringa dalla retroalimentazione in provenienza da altre stringhe. A questo proposito fanno stato le Prescrizioni sugli impianti elettrici interni dell'ASE, che vanno applicate per analogia. Per una maggiore protezione dei moduli, soprattutto in presenza di tensioni di una certa importanza, le stringhe devono inoltre essere dotate di diodi. Dove le tensioni sono basse si tende a tralasciarli, sia perché comportano delle perdite sia perché il pericolo potenziale è minore. La cassetta dovrebbe essere tale da agevolare il lavoro: il cablaggio deve essere eseguito in maniera curata e offrire una vista d'insieme chiara. Ciò serve anche a prevenire cortocircuiti e pericolosi archi voltaici.

L' utilizzazione di diversi colori per i conduttori positivi e negativi crea chiarezza.

Tra il polo positivo e quello negativo si mette a terra uno scaricatore di sovratensione. Allo scopo si impiegano spesso dei varistori di ossidi di metallo. La loro curva di resistenza dipende infatti dalla tensione: il coefficiente di resistenza diminuisce con l'aumento della tensione, e questo soffoca la progressione verso un'eventuale sovratensione.

Lucido 26



26

5.8 Esempio di cassetta terminale

Nel capitolo precedente abbiamo descritto la connessione in serie risp. in parallelo dei moduli fotovoltaici. Il cablaggio seriale dei singoli moduli viene eseguito direttamente sul tetto. I collegamenti tra le scatole di giunzione sul retro vengono fatti proseguire direttamente da modulo a modulo. Per contro, in presenza di una connessione in parallelo, si rende indispensabile la cassetta terminale. I lucidi 25 e 26 presentano una simile cassetta. Nella cassetta, i cavi di allacciamento delle stringhe sono fatti proseguire attraverso delle valvole (solo sul conduttore positivo) fino a due sbarre collettrici (polo positivo e .negativo). Per proteggere l'impianto dalle conseguenze di possibili sovratensioni, tra il potenziale di terra e le due sbarre collettrici si posano in più degli elementi contro le sovratensioni. Al fine di poter lavorare senza tensione sulla condotta di collegamento e sull'ondulatore, tra sbarre collettrici e ondulator si posa un disgiuntore di linea.

5.9 Morsetti

Per collegare i cavi delle singole stringhe del campo fotovoltaico si dovrebbero utilizzare ovunque sia possibile dei morsetti capaci di assicurare anche nel tempo un contatto ineccepibile. Si ricordi che un cattivo contatto può causare negli impianti a corrente continua danni assai più grandi di quelli che causerebbe in un impianto a corrente alternata. I morsetti da allacciarsi tra di loro consentono di raccogliere in un unico punto di uscita le correnti delle stringhe, senza esigere un lavoro di cablaggio impegnativo.

5.10 Valvole, diodi.

Ogni stringa va protetta con una valvola o un diodo. Le valvole devono essere del tipo capace di spegnere eventuali archi voltaici. È indispensabile apporre un'avvertenza che ricordi che le valvole non possono essere tolte e rimesse sotto carico. Ciò è particolarmente importante per i sistemi con tensioni di stringa che superino i 50 V. Il calore che viene a crearsi nel diodo di stringa, a causa della potenza dissipata risultante dalla corrente di stringa moltiplicata per la caduta di tensione sul diodo, deve essere evacuato.

5.11 Scaricatore di sovratensione

La protezione delle persone e degli edifici, ma anche dell'impianto, rende necessario un dispositivo contro la sovratensione. Gli scaricatori di sovratensione collegati a terra assolvono una parte del compito. Ovviamente non sarà mai possibile conseguire per le persone e i materiali una protezione assoluta in caso di fulminazione diretta. Gli scaricatori offrono tuttavia una protezione sufficiente nella maggior parte dei casi in cui il fulmine colpisca obiettivi nelle immediate vicinanze dell'impianto.

Qualora si scoprissero tracce dell'impatto di un fulmine nel sistema parafulmine dell'edificio o in una qualsiasi infrastruttura, sarà necessario chiedere a una persona specializzata di controllare accuratamente se lo scaricatore di sovratensione non abbia subito qualche danno anch'esso.

5.12 Separatore di linea per corrente continua

Gli impianti elettrici convenzionali possono essere disinseriti interrompendo, sia nel quadro principale sia nell'impianto stesso, l'adduzione di corrente alternata (dispositivo di sicurezza automatico o interruttore di rete). Nel caso degli impianti fotovoltaici la situazione si presenta diversa. L'ondulatore è parte integrante di una centrale allacciata a due possibili fonti di energia: il campo solare e la rete pubblica di distribuzione. Per allacciare o riparare senza pericolo l'ondulatore e indispensabile interrompere il flusso sui due versanti. Allo scopo, anche sul versante a corrente continua, occorre montare un separatore di linea, che potremmo definire un potente interruttore per corrente continua. Se la cassetta terminale viene posata in un luogo facilmente accessibile e non troppo distante dall'ondulatore, potrà altresì accogliere questo interruttore; in caso contrario, quest'ultimo dovrà essere montato direttamente accanto all'ondulatore oppure in entrambi i punti.

5.13 Montaggio della cassetta terminale

Le cassette in materiale sintetico sono solo limitatamente idonee per la posa all'aperto. Se possibile, e molto meglio trovare loro una sistemazione all'interno dell'edificio. Dove non fosse possibile evitarne la posa all'aperto, si dovrà, a dipendenza del fabbricato impiegato, badare che rimangano protette dalla pioggia e dalle radiazioni UV dirette.

La cassetta terminale dovrebbe essere di un materiale difficilmente infiammabile. Laddove il fuoco costituisse un serio pericolo, è inoltre indispensabile assicurarsi che venga posata in un luogo sicuro. Se del caso, sarà necessario adottare provvedimenti speciali: p.e. una piastra basale incombustibile (di un prodotto sostitutivo dell'asbesto).

Per ragioni inerenti al protezione dai fulmini, è buona regola posare la cassetta sulla linea di collegamento più breve e diretta tra il campo fotovoltaico e l'ondulatore. Essa deve essere inaccessibile ai bambini, e deve anche essere concepita in modo da aprirsi solo con l'aiuto di attrezzi.

5.14 Impianto parafulmine

Per impianto parafulmine intendiamo il sistema complessivo previsto per la protezione dalle conseguenze del fulmine. Esso si compone di un impianto esterno e di uno interno all'edificio.

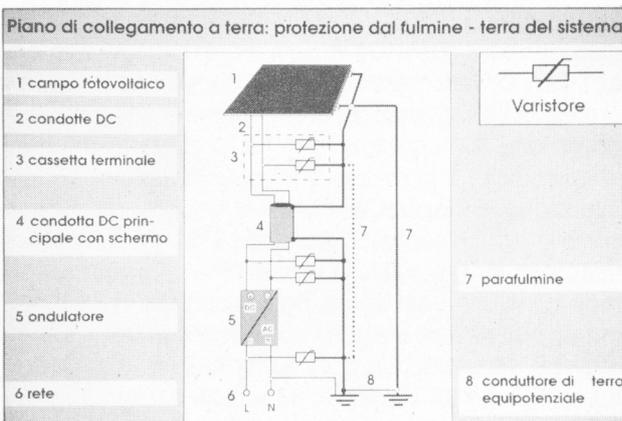
5.15 Protezione esterna dai fulmini

La protezione esterna è costituita essenzialmente dai dispositivi di captazione, di deviazione e di scaricamento. I dispositivi di captazione sono condutture o superfici metalliche capaci di catturare il fulmine. I dispositivi di deviazione sono collegamenti tra gli elementi metallici di captazione e la messa a terra: può trattarsi di parti metalliche in facciata, armature di acciaio, tubature di scolo in rame o semplici fili di rame. Il dispositivo di scaricamento a terra, infine, è la parte che convoglia le correnti dei fulmini nel suolo ripartendovele. Questo impianto può essere eseguito come messa a terra di fondazione, di profondità o di superficie (terra a nastro, come minimo 0,7 m sotto la superficie del suolo).

5.16 Protezione interna dai fulmini

La protezione interna dai fulmini comprende tutte le misure adottate, all'interno dell'edificio da proteggersi, allo scopo di ridurre le conseguenze elettriche e magnetiche della corrente del fulmine. La misura principale è costituita dalla compensazione del potenziale. I dispositivi di compensazione del potenziale comprendono le parti dell'impianto parafulmine interno necessarie per la riduzione delle differenze di potenziale prodotte dalla corrente del fulmine. Rientrano in questo novero tra l'altro le armature, i conduttori di compensazione del potenziale, gli scaricatori di sovratensione, le tubature dell'acqua ecc. Le strutture conduttive della casa dovrebbero risultare collegate tra loro in un intreccio possibilmente fitto.

Lucido 27



27

5.17 Collegamento a terra, protezione dai fulmini

In base alle nuove direttive provvisorie per gli impianti fotovoltaici (ASE 233.0690 d oppure f), per un edificio sprovvisto di parafulmine non è fatto obbligo di posarne uno in concomitanza con l'installazione di un impianto fotovoltaico. Gli impianti fotovoltaici possono dunque essere realizzati anche su edifici senza parafulmine.

5.18 Edifici senza parafulmine

Le infrastrutture di un impianto fotovoltaico sono di regola realizzate con materiali metallici e, pertanto, conducono bene l'elettricità. Le celle fotovoltaiche sono racchiuse in un telaio di alluminio, che poggia direttamente sul supporto metallico. Da questo supporto, passando attraverso il tetto, va tirato un conduttore avente una sezione minima di 25 mm² Cu fino alla cassetta terminale. In questa cassetta si trovano gli elementi di sovratensione: se si registrasse un aumento della tensione sul percorso positivo risp. negative, essi reagirebbero e convoglierebbero la corrente del fulmine lungo lo scaricatore dimensionato a tale fine (min. 25 mm² Cu). Gli scaricatori devono essere condotti sulla via più breve verso il dispersore, e ciò affinché la corrente del fulmine possa essere convogliata il più presto possibile all'impianto di collegamento a terra, per poi essere deviata nel suolo. Dato il pericolo di scarica è bene rinunciare a dei cambia-

menti repentini di direzione. Nonostante tutte le misure cautelative, può succedere che non si riesca a prevenire l'aumento di tensione causato dal fulmine. Unendo a maglia tutte le strutture metalliche presenti all'interno dell'edificio si ottiene comunque che i vari potenziali aumentino nella stessa misura, evitando così il pericolo che nel punto più debole dell'impianto elettrico della casa si verifichi una scarica disruptive.

5.19 Edifici con parafulmine

Per gli edifici che già sono dotati di un impianto parafulmine, il piano di protezione è fondamentalmente lo stesso. Anzitutto occorre collegare la struttura portante del campo fotovoltaico con l'impianto parafulmine esterno. In particolare, il campo dovrebbe risultare collegato in tutti e quattro gli angoli con il parafulmine esterno. Nel caso di campi fotovoltaici di una certa dimensione occorrerà prevedere un collegamento ogni dieci metri.

Quanti più collegamenti esistono, tanto più grande è l'effetto protettore nel caso di una fulminazione. Come nel caso degli edifici senza parafulmine, le infrastrutture devono essere collegate con la cassetta terminale mediante un compensatore del potenziale (min. 25 mm² Cu). Contrariamente agli edifici senza parafulmine, invece, dalla cassetta terminale fino al collegamento a terra dell'edificio è prescritto solo un conduttore di almeno 10 mm² Cu. Le deviazioni fino all'impianto di collegamento a terra formano infatti pressoché una gabbia di Faraday avente la capacità di convogliare nel suolo le correnti, soprattutto lungo il parafulmine esterno.

6 Struttura meccanica di un campo fotovoltaico

6.1	Maneggiamento dei moduli fotovoltaici	8
6.2	Aspetti tecnici della scelta della struttura portante	48
6.3	I vari tipi di tetto.	48
6.4	Tetto a falde	48
6.5	Esempio di strutture portanti per tetti a falde	49
6.6	Impianti su tetti a falde	50
6.7	Esempio di montaggio su tetto piano	50
6.8	Impianti su tetti piani	51
6.9	Impianti di facciata	51
6.10	Cablaggio	51
6.10.1	Tetto a falde	52
6.10.2	Tetto piano	52

6 Struttura meccanica di un campo fotovoltaico

Nella costruzione di impianti fotovoltaici, la maggior parte degli errori vengono fatti durante la posa dei moduli. Gli impianti sono spesso montati da persone senza qualifica, che poco o nulla conoscono delle caratteristiche dei moduli. Volendo installare a regola d'arte un impianto fotovoltaico è però necessario osservare un certo numero di punti, inerenti sia ai moduli, sia alla sequenza del montaggio, sia al tetto.

6.1 Maneggiamento dei moduli fotovoltaici

Un modulo fotovoltaico si compone di materiali molto sensibili. Le lamine di silicio sono fragili e si rompono facilmente. Lo stesso dicasi della copertura di vetro. Il montaggio va fatto osservando le precauzioni adottate nei confronti dei vetri delle finestre. La minima screpolatura nel vetro di copertura frontale o il minimo danneggiamento della pellicola di tedlar dorsale; dovuti a inavvertenze nell'uso degli attrezzi, possono provocare l'ossidazione delle lamine di silicio e determinarne la distruzione.

Bisogna inoltre ricordarsi che, durante l'esercizio, i moduli fotovoltaici producono anche calore oltre all'energia elettrica. Questo calore ha un effetto negativo sul loro rendimento e sul loro tempo di vita. Montando i moduli bisogna dunque assolutamente fare in modo che risultino ben ventilati sul lato posteriore: solo così il calore può essere evacuato a mano a mano che si produce.

6.2 Aspetti tecnici della scelta della struttura portante

La struttura portante deve essere dimensionata in modo da reggere ai carichi presumibili del vento e della neve. Le basi per il calcolo si trovano nella Norma SIA 160 concernente i carichi. Inoltre, nella scelta dei materiali è assolutamente indispensabile prestare attenzione alla loro resistenza alla corrosione. Per ragioni di sicurezza, si possono utilizzare solo materiali che presentino un tempo di vita minimo di 25

anni. A seguito del pericolo di corrosione, si dovrebbe evitare l'impiego di materiali diversi, molto distanti gli uni dagli altri nella gamma delle tensioni elettrochimiche. L'aria dei nostri giorni, alquanto aggressive, non lascia alcun margine di scelta a questo proposito.

Un altro requisito all'indirizzo della struttura portante è quello inerente alla sostituibilità dei moduli. In presenza di difetti, i singoli moduli o gruppi di moduli devono poter essere sostituiti senza causare troppo lavoro. Ciò vale in particolare anche per il cablaggio elettrico sul lato posteriore, che deve essere dimensionato in modo da consentire un facile accesso alla scatola di giunzione ogni qualvolta un modulo debba essere smontato.

Nella maggior parte dei casi, un impianto fotovoltaico comporta una modifica più o meno incisiva dell'aspetto esterno dell'edificio. Si scelgano pertanto strutture portanti il più piatte possibili, che emergano solo di poco rispetto al piano del tetto. Purtroppo, molte tra le commissioni che vagliano i progetti di costruzione danno tuttora un peso maggiore agli aspetti estetici che, non a quelli ambientali.

6.3 I vari tipi di tetto

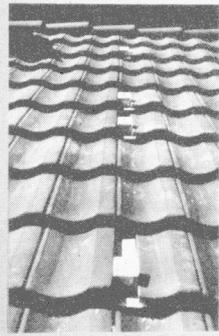
Per semplificare, suddivideremo qui i tetti esistenti in due grandi categorie. In Svizzera, la prima e numericamente la più importante è quella che riunisce i vari tipi di tetti a falde, di cui sono infatti dotate quasi nove case su dieci. Nella seconda categoria rientrano i tetti piani. Poco diffusi numericamente, questi tetti hanno tuttavia delle superfici di gran lunga superiori a quelle dei tetti a falde.

6.4 Tetto a falde

In Svizzera esistono innumerevoli tipi di tetti a falde. Questa grande molteplicità rende impossibile l'adozione di soluzioni standardizzate per il fissaggio dei moduli. I moduli possono d'altronde sia essere integrati nella superficie del tetto, sia essere posati al di sopra di essa.

Lucido 28

Esempio di struttura portante per tetti a falde



Funzione: collegamento meccanico tra armatura del tetto e struttura portante dei moduli

Specificazione: resistente alle tempeste, ai carichi della neve, alla corrosione, con giunti impermeabili

Norme:

- STA 160 per il vento e il carico della neve
- INSAI 1805 - Ordinanza sui lavori inerenti ai tetti

Esecuzione: sempre da parte di copritetto o lattonieri qualificati. Ogni specialista realizzerà la sua soluzione.

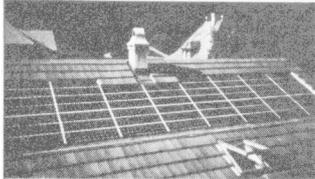


Quando sul mercato compariranno moduli da integrare direttamente nel piano del tetto, il collegamento con il tetto si presenterà diverso. L'intervento del copritetto o dei lattonieri è comunque indispensabile.

28

Lucido 29

Impianti su tetti a falde



Impianto completamente integrato nel piano del tetto a Thun (BE). La potenza è di 2,7 kW.



Impianto di 3 kW a Hombrechtikon (ZH). Il campo fotovoltaico è fissato al tetto mediante tegole di lamiera.

29

6.5 Esempio di strutture portanti per tetti a falde

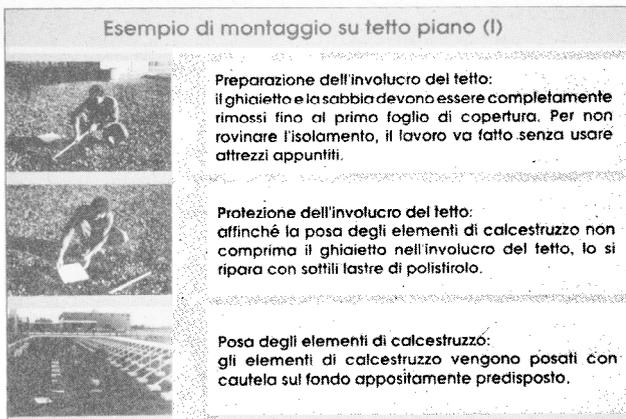
Quando un impianto fotovoltaico viene montato sul tetto, la prima cosa da posare è la struttura portante. I supporti servono ad ancorare l'infrastruttura all'armatura del tetto; ma costituiscono inoltre anche il collegamento tra tetto e impianto fotovoltaico. Le sollecitazioni derivanti dal vento e dai carichi della neve sono trasmesse attraverso questi supporti alle travi della capriata. È assolutamente indispensabile che il dimensionamento e il montaggio di simili supporti impermeabili siano affidati a lattonieri o copritetto qualificati. A dipendenza del tipo di tetto, questi specialisti monteranno i supporti che riterranno più idonei nel caso specifico.

6.6 Impianti su tetti a falde

Nel caso degli impianti fotovoltaici integrati, i singoli moduli sono posati in luogo delle tegole così da formare lo strato esterno del tetto. Sotto il profilo estetico, l'integrazione dell'impianto fornisce senz'altro il risultato migliore per un tetto a falde. Tuttavia, anche questo sistema presenta varie difficoltà. Attenzione p.e. a non appoggiare mai i moduli direttamente sull'involucro del tetto: è infatti indispensabile che rimanga un'intercapedine di ventilazione (> 2 cm) tra tetto e moduli per evitare che questi ultimi si riscaldino eccessivamente durante l'esercizio, con conseguente forte calo della resa e una riduzione del loro tempo di vita. L'integrazione degli impianti fotovoltaici si presenta più complessa che il semplice montaggio sopra il tetto. Per quanto attiene all'impermeabilità all'acqua vi sono tuttora punti deboli irrisolti, dato che non è possibile avvalersi di un'esperienza millenaria, come nel caso dei tetti a falde. Indispensabile è che vi sia un telaio di copertura, eseguito da lattonieri, che assicuri allacciamenti ermetici intorno al modulo fotovoltaico.

Lucidi 30 e 31

Esempio di montaggio su tetto piano (I)



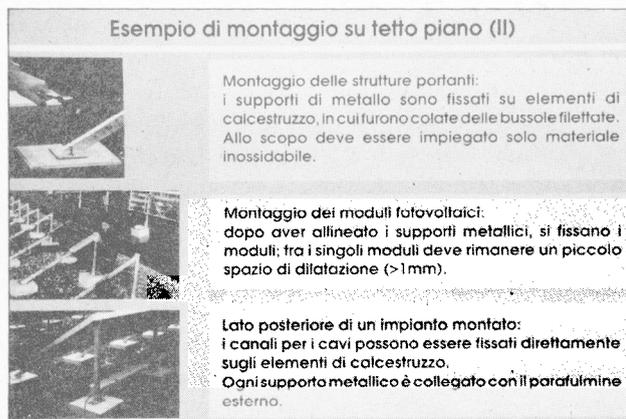
Preparazione dell'involucro del tetto: il ghiaietto e la sabbia devono essere completamente rimossi fino al primo foglio di copertura. Per non rovinare l'isolamento, il lavoro va fatto senza usare attrezzi appuntiti.

Protezione dell'involucro del tetto: affinché la posa degli elementi di calcestruzzo non comprima il ghiaietto nell'involucro del tetto, lo si ripara con sottili lastre di polistirolo.

Posa degli elementi di calcestruzzo: gli elementi di calcestruzzo vengono posati con cautela sul fondo appositamente predisposto.

30

Esempio di montaggio su tetto piano (II)



Montaggio delle strutture portanti: i supporti di metallo sono fissati su elementi di calcestruzzo, in cui furono colate delle bussole filettate. Allo scopo deve essere impiegato solo materiale inossidabile.

Montaggio dei moduli fotovoltaici: dopo aver allineato i supporti metallici, si fissano i moduli; tra i singoli moduli deve rimanere un piccolo spazio di dilatazione (>1mm).

Lato posteriore di un impianto montato: i canali per i cavi possono essere fissati direttamente sugli elementi di calcestruzzo. Ogni supporto metallico è collegato con il parafulmine esterno.

31

6.7 Esempio di montaggio su tetto piano

Sui tetti piani svizzeri v'è un'immensa riserva di superfici idonee alle applicazioni fotovoltaiche. La maggior parte dei tetti piani ha tuttavia un involucro impermeabile estremamente delicato. Posandovi dei supporti, è importantissimo che questo involucro non subisca alcun pregiudizio. Assolutamente sconsigliate sono d'altronde anche le speciali brecce praticate attraverso l'isolamento impermeabile per fissare le strutture portanti. In gran parte dei casi, dopo qualche anno, l'acqua riesce comunque a penetrare, rendendo necessario un impegnativo e costoso intervento di risanamento.

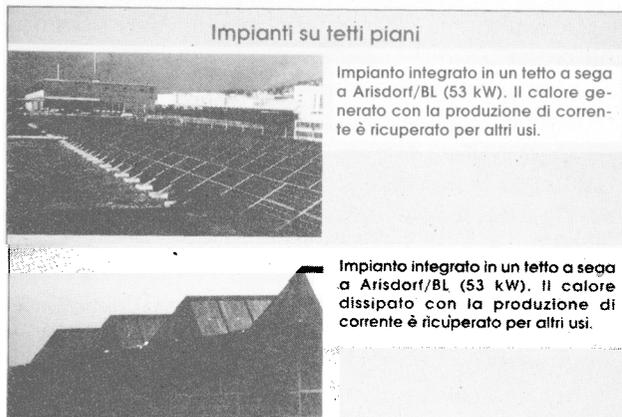
Un modo semplice per costruire un impianto su di un tetto piano e basato sul principio gravitazionale: le strutture portanti dell'impianto fotovoltaico sono

montate su elementi di calcestruzzo prefabbricati, previamente posati sul tetto. Tali elementi di calcestruzzo servono a garantire che l'impianto non si sposti né si sollevi in caso di forte vento. I lucidi 30 e 31 mostrano lo schema di svolgimento del montaggio. Anzitutto occorre preparare la superficie del tetto. Nei punti in cui è prevista la posa degli elementi di calcestruzzo si asportano le pietre e la sabbia. È importante badare che sull'involucro impermeabile del tetto non rimangano pietre o ghiaia. Non appena la superficie è ben ripulita, vi si posa una sottile lastra di polistirolo estruso, sulla quale si appoggia poi con cautela un elemento di calcestruzzo. Se nonostante tutte le precauzioni un sassolino si fosse intrufolato sotto l'elemento di calcestruzzo, potrebbe al massimo penetrare nel polistirolo, senza danneggiare l'impermeabilizzazione.

Quando tutti gli elementi di calcestruzzo si trovano nei punti previsti, si montano le mensole in metallo. Colando gli elementi di calcestruzzo si è preventivamente provveduto a inserirvi delle bussole filettate. Le mensole possono dunque essere semplicemente fissate con delle viti. Quando tutte le mensole sono avvitate sugli elementi di calcestruzzo, vi si fissano i moduli fotovoltaici. Una volta terminato anche questo lavoro sarà possibile tornare a ricoprire il tetto con la sabbia e il ghiaietto ammassati in precedenza.

Molti tetti piani non hanno una portata sufficiente per supportare strutture che reggano solo in base al principio gravitazionale. Sarà dunque necessario chiarire se sia in qualche modo realizzabile un collegamento con il tetto. Vi sono tetti piani che, invece che con il ghiaietto, sono già stati rivestiti con lastre di calcestruzzo. Si potrebbe pensare di avvitare le mensole direttamente su tali lastre. In questo caso, il compito di assorbire le sollecitazioni del vento e prevenire un sollevamento dell'impianto fotovoltaico sarebbe affidato direttamente all'involucro del tetto risp. alle lastre di calcestruzzo.

Lucido 32



32

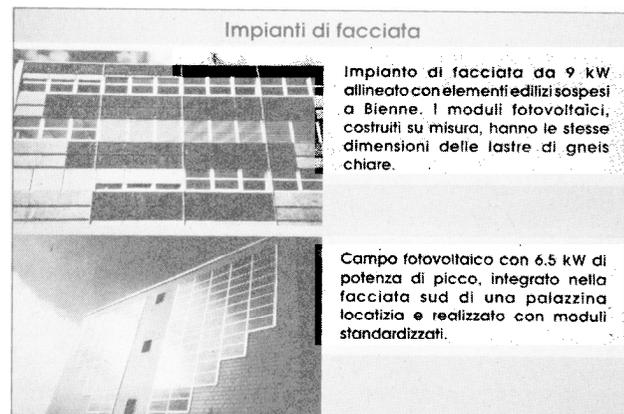
6.8 Impianti su tetti piani

L'esempio del nuovo edificio di una moderna fabbrica di finestre di Arisdorf/BL illustra le possibilità offerte dall'utilizzazione molteplice degli elementi fotovoltaici. Il particolare pregio di un'utilizzazione multifunzionale dei pannelli fotovoltaici sta nella migliorata redditività. L'utilizzo risp. le funzioni sono segnatamente:

- la trasformazione diretta di energia solare in corrente elettrica;
- l'utilizzazione del calore generato dalla produzione di corrente per il riscaldamento diretto dei capannoni di produzione e deposito, come pure il convogliamento dell'energia termica eccedente in un accumulatore stagionale (accumulazione nel terreno) per il ricupero in data ulteriore;
- la piena integrazione dei generatori fotovoltaici nella facciata e nella struttura del tetto, dove i pannelli sostituiscono elementi edilizi convenzionali, consentendo di conseguire un risparmio diretto sui costi.

Nell'esempio del magazzino di Zurigo-Herdern, l'ancoraggio dell'impianto sul tetto piano è risolto mediante zoccoli di calcestruzzo dimensionati in modo da non poter essere spostati dai venti che agiscono sulle file di moduli.

Lucido 33



33

6.9 Impianti di facciata

Ogni anno in Svizzera sono posati alcuni milioni di metri quadrati di rivestimenti di facciata. L'offerta spazia dalle costose lastre di pietra alle convenientissime lastre di metallo, ossia da qualche migliaio di franchi a solo pochi franchi il metro quadrato. In molte località si sono realizzati anche degli involucri edilizi di vetro. Perché dunque non applicare la tecnologia solare anche in questo settore. In Svizzera sono state costruite già diverse facciate costituite almeno in parte da moduli fotovoltaici.

Per una facciata fotovoltaica — come p.e. quella dell'impianto Rutihof II di Zurigo-Hongg — i costi per l'impianto installato furono di circa 1500 a 1800 fr./m². A titolo di confronto, una facciata in pietra costa oggi tra i 1000 e i 3000 fr

Nel caso dell'edificio industriale <<Windmühlen>> di Bienne, i moduli furono realizzati con le precise e identiche dimensioni delle lastre di pietra: ciò ha consentito di attuare una perfetta integrazione estetica nella facciata.

6.10 Cablaggio

Per il cablaggio dei moduli fotovoltaici tra loro stessi, ma anche tra loro e la cassetta terminale si dovrebbe, in ogni modo utilizzare un cavo doppiamente isolato e resistente al fuoco. Il mercato offre già dei cavi specialmente concepiti per l'impiego negli impianti solari: hanno una doppia guaina isolante e, per amore dell'ambiente, sono privi di PVC.

6.10.1 Tetto a falde

La maggior parte degli impianti fotovoltaici è costruita oggi ricorrendo a pacchetti di moduli preassemblati. Ciò significa che si stendono circa 3 moduli per terra, si assemblano con appositi profilati e si procede al cablaggio elettrico. Questo modo di procedere risparmia alcuni lavori che dovrebbero altrimenti essere eseguiti in posizione oltremodo scomoda. Nel fare il cablaggio dei pacchetti di moduli occorre tuttavia badare che risulti poi aderente al modulo; talvolta sarà necessario ricorrere a speciali lacci per i cavi. Una volta sul tetto, bisognerà solo ancora congiungere i pacchetti di moduli in una stringa. Facendo il cablaggio elettrico è opportuno lasciare se possibile una lunghezza supplementare di cavo: lunghezza in più che sarà dimensionata in modo da consentire, in caso di smontaggio di un modulo o di un pacchetto di moduli, di raggiungere agevolmente la scatola di giunzione per staccare i conduttori. Inoltre, per evitare che in caso di pioggia sia esposto all'acqua scaricata dalle tegole, il cablaggio non dovrebbe poggiare direttamente sul tetto. Si badi soprattutto che l'acqua non possa infiltrarsi nelle scatole di giunzione: ciò può facilmente essere evitato applicando p.e. uno sgocciolatoio prima di introdurre i cavi nella scatola. Non si consiglia invece di sigillare ermeticamente il punto di entrata, perché ciò impedirebbe alla condensa formata all'interno della scatola di fuoriuscire: la conseguenza sarebbero ovviamente dei fenomeni corrosivi devastanti, data la presenza di potenziali a tensione continua tra i contatti. L'inserimento dei cavi delle stringhe attraverso il tetto dovrebbe assolutamente essere realizzato da copritetto o lattonieri qualificati. Anche questa operazione va ovviamente fatta osservando le regole che permettono, di prevenire qualsiasi infiltrazione di acqua.

6.10.2 Tetto piano

Nel caso dei tetti piani, il problema è decisamente minore. Ma anche qui, l'effetto devastante dell'acqua deve assolutamente essere preso in considerazione. Si consiglia di applicare degli sgocciolatoi ed eventualmente addirittura di procedere a una perforazione di drenaggio di circa 2 mm di diametro nel punto più basso della scatola di giunzione. La conduzione dei cavi dai moduli solari alla cassetta terminata avviene in semplici tubi (p.e. ALU-AGRO), che possono essere fissati direttamente sugli elementi di calcestruzzo.

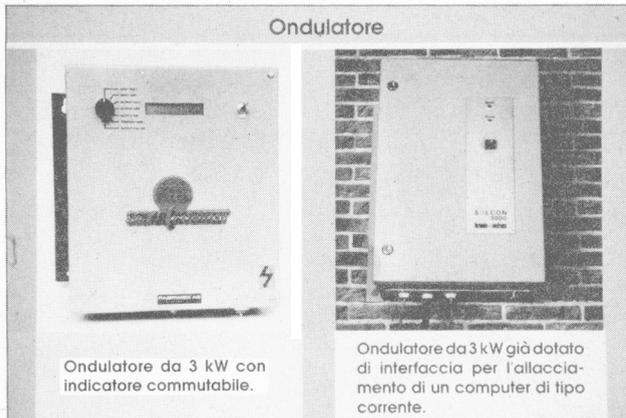
Per i pericoli associati ai lavori sui tetti rimandiamo al capitolo 9.

7 Ondulatori fotovoltaici

7.1	Ondulatori	54
7.2	Ondulatori fotovoltaici commutati dalla rete	55
7.3	Ondulatori fotovoltaici con modulazione della larghezza degli impulsi	55
7.4	Ondulatori fotovoltaici con trasformatore ad alta frequenza	56

7 Ondulatori fotovoltaici

Lucido 34



34

7.1 Ondulatori

Gli ondulatori per l'applicazione fotovoltaica hanno il compito di trasformare la corrente continua generata nel campo fotovoltaico in corrente alternata conforme alle esigenze della rete. Tali ondulatori sono conosciuti correntemente anche sotto il nome di invertitori. Nel corso degli ultimi decenni, sul mercato si sono imposti vari tipi di ondulatori, ciascuno basato su una concezione diversa. Ma non tutti i tipi sono idonei all'utilizzo nella conversione di energia fotovoltaica.

Sulla base della potenza nominale si possono distinguere due categorie di ondulatori. Gli ondulatori con transistori sono impiegati per potenze fino a circa 100 kW, ma con i modelli più nuovi si può arrivare anche fino a 500 kW. Gli ondulatori con elementi di commutazione a tiristori offrono attualmente ancora un grande vantaggio di prezzo, dato che la stessa tecnologia trova ampio impiego per altre applicazioni nel campo dei convertitori. Questa tecnica si è rivelata particolarmente idonea per le classi di potenzialità più alte.

L'allacciamento dell'impianto fotovoltaico alla rete di distribuzione pubblica rende, necessario un ondulatore fotovoltaico che soddisfi elevate esigenze qualitative, segnatamente:

- funzionamento sincronico con la rete
- disinserimento automatico in caso di guasto o difetti sulla rete
- elevato rendimento (tipicamente >90 %)
- inserimento e disinserimento autonomo dell'impianto

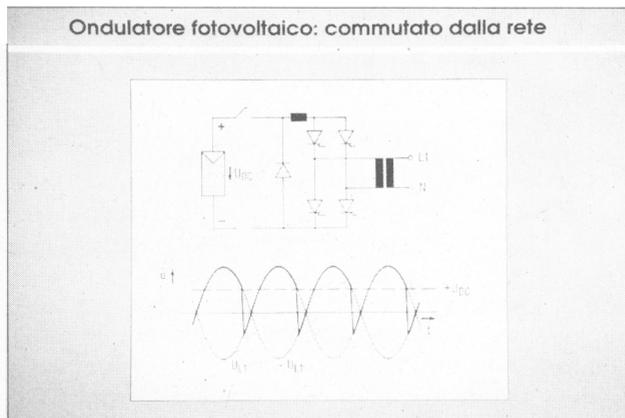
- debole tenore di armoniche
- compatibilità elettromagnetica (esente da radiodisturbi)
- elevata affidabilità
- ingombro risp. peso contenuto

e il tutto nel rispetto delle norme e prescrizioni dettate dalle aziende elettriche. Tali norme e prescrizioni riguardano soprattutto l'entità delle ripercussioni ammesse sulla rete, quali il tenore di armoniche e le modalità di arresto in caso di guasto alla rete.

Per gli impianti autonomi, il mercato offre un numero ancor maggiore di ondulatori che non per quelli allacciati alla rete. L'ondulatore per impianti autonomi più semplice è sicuramente l'ondulatore a onda quadra, caratterizzato da rendimenti estremamente elevati e perfettamente sufficiente per l'alimentazione di utilizzatori esclusivamente ohmici. Con questo tipo di ondulatore, i problemi sorgono soprattutto quando vi sono allacciati apparecchi sensibili alle enormi armoniche prodotte, quale effetto collaterale, dall'ondulatore a onda quadra. Ma anche per il settore degli impianti autonomi esistono ondulatori fotovoltaici dalle concezioni più diverse, capaci di fornire una tensione sinusoidale pressoché ideale.

Attualmente, in Svizzera, si trovano correntemente in esercizio tre tipi basilari di ondulatori previsti per l'allacciamento alla rete: tutti e tre soddisfanno le prescrizioni menzionate sopra. Questi ondulatori vengono trattati in seguito per i sistemi monofase. Ovviamente, con le tecniche descritte si possono realizzare anche impianti trifase; tuttavia, per ora non sono ancora reperibili ondulatori trifase con circuito intermedio ad alta frequenza, quali vengono descritti nella terza variante.

Lucido 35

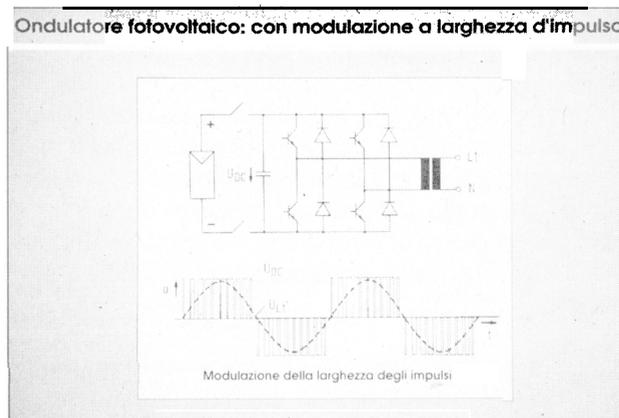


35-

7.2 Ondulatori fotovoltaici commutati dalla rete

Gli ondulatore fotovoltaici commutati dalla rete hanno di regola dei tiristori quali elementi di commutazione. Durante l'esercizio normale, per la commutazione della corrente continua, si sfrutta il passaggio per lo zero della tensione di rete. Uno dei problemi sta nel fatto che per un disinserimento completo, la corrente condotta dai tiristori deve scendere a zero per circa 30 sec. E ciò presenta qualche difficoltà, dato che la tensione d'entrata proviene da una sorgente a tensione continua. Gli ondulatore commutati da tiristori presentano di regola un elevato tenore di armoniche e provocano uno spostamento di fase.

Lucido 36



36

7.3 Ondulatori fotovoltaici con modulazione della larghezza degli impulsi

La modulazione della larghezza (o durata) degli impulsi fa leva sulla proprietà che un'onda sinusoidale può essere imitata mediante impulsi di varia larghezza, purché la frequenza di commutazione per tali impulsi sia almeno di un fattore 200 più al di sopra della frequenza fondamentale di 50 Hz da prodursi. Con simili condizioni marginali, il tenore di armoniche prodotte da una tensione sinusoidale modulata è debole. Nel caso della modulazione della larghezza d'impulso, la tensione d'uscita prima del filtro appare come se fosse una palizzata con interstizi più o meno ampi. Gli ondulatore con modulazione della larghezza degli impulsi hanno potuto essere messi a punto quando divennero reperibili i transistori con elevata velocità di commutazione e debole dissipazione della potenza. Siccome questi transistori di commutazione rapidi sono tuttora relativamente costosi, gli apparecchi che li contengono finiscono per essere più costosi che non gli ondulatore dotati di tiristori. Anche i comandi si fanno più complessi, benché l'importanza di questo aspetto diminuisca con l'aumento del numero di pezzi.

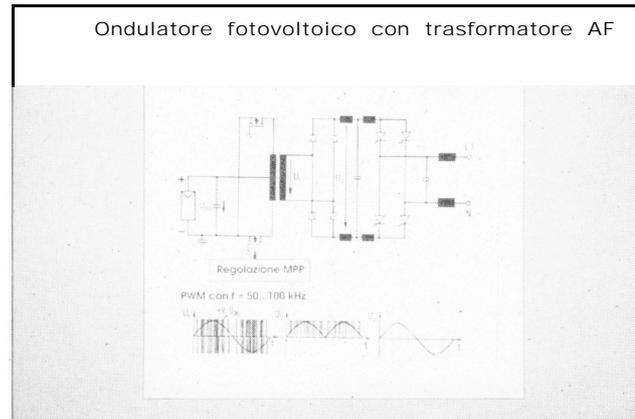
La combinazione tra elevato rendimento e breve tempo di reazione su carichi mutevoli rende gli ondulatore a modulazione della larghezza degli impulsi sensibili al cortocircuito e al sovraccarico. Ciò spiega perché, in caso di sovraccarico, simili ondulatore vengano di regola disinseriti e non ci si accontenti solo di imitare la corrente. La limitazione della corrente non sarebbe

infatti sufficientemente tempestiva per salvaguardare gli elementi di potenza.

Se la tensione d'esercizio minima del campo fotovoltaico supera il vertice della tensione alternata di 50 Hz da prodursi, allora è possibile costruire anche ondulatori a modulazione della larghezza degli impulsi privi di trasformatore. Gli ondulatori fotovoltaici privi di trasformatore sono di regola meno costosi e presentano, rispetto a quelli più moderni dello stesso tipo, un rendimento di qualche per cento in più. Gli svantaggi degli apparecchi concepiti in questo modo sono:

- a) maggiore pericolo di immettere corrente continua nella rete a corrente alternata risp. di condurre corrente alternata al campo fotovoltaico in caso di cortocircuito degli interruttori di potenza dovuto a un guasto;
- b) dato che gli ondulatori fotovoltaici senza trasformatore hanno un punto in comune sul lato della corrente continua e della corrente alternata, non è possibile realizzare una disposizione di tipo fluttuante con il campo fotovoltaico. Questo tipo di disposizione, in cui né il più né il meno del campo fotovoltaico sono allacciati alla terra del sistema, aumenta considerevolmente la sicurezza delle persone. Inoltre, la suddivisione dei collegamenti a terra presenta l'inestimabile vantaggio che dal sistema di collegamento a terra non si disperdono correnti di dispersione provenienti dal campo fotovoltaico. Simili correnti devono essere prevenute soprattutto in considerazione dell'accresciuto effetto corrosivo della corrente continua.

Lucido 37



37

7.4 Ondulatori con trasformatore ad alta frequenza

Nell'ondulatore a commutazione forzata con trasformatore ad alta frequenza, la corrente continua è trasformata in impulsi a frequenza e/o a larghezza d'impulso variabile (20 a 50 Hz). La variazione della frequenza avviene secondo una funzione sinusoidale. La necessaria regolazione del punto di massima potenza (<<maximum power point >>) è integrata nel circuito di comando. Il vantaggio della suddivisione dell'energia in una moltitudine di impulsi ad alta frequenza sta nel fatto che il trasformatore collegato risulta molto piccolo (trasformatore per alta frequenza). In particolare, anche le perdite sono molto minori rispetto a un trasformatore da 50 Hz per la stessa potenza. Il trasformatore realizza la separazione di potenziale tra il lato a corrente continua e quello a corrente alternata. Simili apparecchi lavorano in particolare anche in presenza di tensioni del campo fotovoltaico inferiori a quella della rete. Ciò spiega perché questi ondulatori sono costruiti anche nella gamma delle tensioni tra i 50 e i 100 V, tipica dei campi fotovoltaici.

Nel susseguente raddrizzatore, la sequenza di impulsi ad alta frequenza è trasformata in una tensione alternata di ampiezza proporzionale alla larghezza dei singoli impulsi. Nel successivo sistema di commutazione, ogni due semionde una è ribaltata verso il basso, in modo che ne risulti una corrente sinusoidale da 50 Hz conforme con la rete.

Gli odierni ondulatori fotovoltaici non solo soddisfanno tutte le norme e i requisiti delle aziende elettriche, ma presentano anche un rendimento veramente ottimo e un basso tenore di armoniche.

1

8 Prescrizioni

8.1	Introduzione	60
-----	---------------------	-----------

8.2	Come ottenere l'autorizzazione per l'esercizio parallelo di impianti per la produzione di energia (IPE)	60
8.2.1	Leggi, ordinanze e prescrizioni	60
8.2.2	Svolgimento di una procedura di autorizzazione	61
8.2.3	Dispositivi di protezione	61
8.2.4	Impianto di produzione d'energia nell'esercizio parallelo con la rete	62
8.2.5	Condizioni tecniche di allacciamento	62

8.3	Prescrizioni da osservare per l'installazione elettrica di impianti fotovoltaici	63
8.3.1	Prescrizioni generali	63
8.3.2	Protezione dalla sovratensione e dalla sovracorrente	63
8.3.3	Esecuzione del collegamento a terra e della compensazione del potenziale	64
8.3.4	Impianto fotovoltaico con parafulmine esterno	64
8.3.5	Impianto fotovoltaico senza parafulmine esterno	64

8.4	Strumentazione di misura e collaudo	64
8.4.1	Strumentazione di misura	64
8.4.2	Disposizione dei contatori negli impianti con immissione nella rete	65
8.4.3	Collaudo da parte dell'azienda elettrica	65
8.4.4	Svolgimento del collaudo	65

8.5	Elenco di verifica per la messa in esercizio	66
-----	---	-----------

8 Prescrizioni

8.1 Introduzione

Sono particolarmente lieto che anche a un rappresentante delle aziende elettriche sia data la possibilità di presentare in questo ambito un contributo nell'ottica specifica degli enti che lo hanno delegate.

Lo svolgimento della procedura di autorizzazione per l'allacciamento, ma anche le condizioni di allacciamento per gli impianti fotovoltaici non sono uguali in tutti i particolari per ognuna delle 1200 aziende elettriche svizzere.

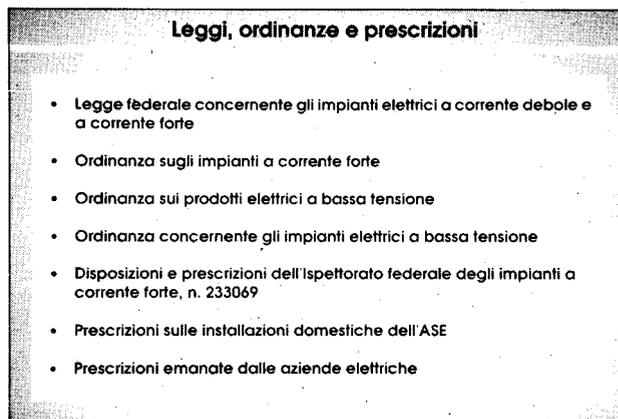
Nella mia esposizione spiegherò quali sono le condizioni di allacciamento e come si svolge la procedura che conduce all'autorizzazione di allacciamento nel comprensorio dell'Azienda elettrica del Cantone Zurigo. Le elucidazioni riguardanti le prescrizioni che reggono l'installazione dovrebbero per contro essere valide per tutte le aziende elettriche.

8.2 Come ottenere l'autorizzazione per l'esercizio parallelo di impianti per la produzione di energia (IPE)

Nel suo svolgimento, la procedura di autorizzazione per gli impianti fotovoltaici è parificata a quella di altri IPE: infatti, la richiesta di autorizzazione viene addirittura stesa sullo stesso formulario. D'altronde, siccome già da qualche decennio siamo confrontati con singole richieste di autorizzazione per degli IPE con esercizio parallelo alla rete, l'intera procedura non costituisce ormai più una novità che possa serbare delle incognite. Nuovo e per contro il fatto che, invece di un generatore rotante, l'energia elettrica sia ora prodotta mediante celle fotovoltaiche.

Volendo costruire impianti di questo tipo, quali sono dunque le leggi, le ordinanze e le prescrizioni da osservare?

Lucido 38



38

8.2.1 Leggi, ordinanza e prescrizioni

Secondo l'art. 2 dell'Ordinanza sugli impianti elettrici a bassa tensione, gli IPE di ogni tipo sono da considerarsi delle installazioni. Ne consegue che le installazioni elettriche relative agli impianti fotovoltaici possono essere eseguite o modificate solo da persone e ditte in possesso dell'autorizzazione a eseguire l'installazione rilasciata dall'impresa con obbligo di controllo, oppure in possesso di un'autorizzazione d'allacciamento dell'Ispettorato federale degli impianti a corrente forte (abbreviate qui in seguito con IFCF).

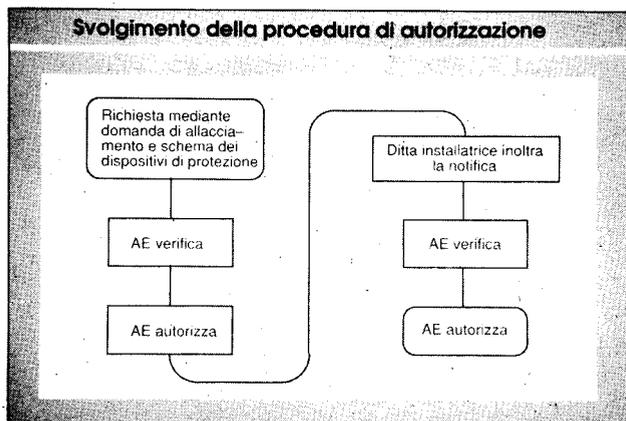
Ma anche per questo settore delle installazioni vale il detto che ogni regola ha la sua eccezione. In assenza di un'autorizzazione, le installazioni per impianti fotovoltaici possono essere realizzati solo da persone competenti (aventi superato gli esami di maestria per le materie professionali), controllori elettricisti o montatori elettricisti con attestato federale di capacità. Ciò vale tuttavia solo per le installazioni in edifici abitati da loro stessi e di loro proprietà.

Dette agevolazioni per le installazioni non esentano tuttavia l'installatore dall'obbligo di avviso.

Ma ora passiamo al sodo:

che cosa deve fare la persona interessata qualora intenda mettere in servizio un impianto fotovoltaico?

Lucido 39



39

8.2.2 Svolgimento di una procedura di autorizzazione

Le disposizioni da osservarsi emergono dall'elenco delle condizioni tecniche per l'esercizio parallelo di IPE con la rete dell'azienda elettrica. Tale elenco è inviato alla persona interessata unitamente al formulario di domanda per l'esercizio di un IPE.

Un simile formulario-modello come pure le condizioni tecniche imposte dall'Azienda elettrica del Cantone Zurigo sono riportati nell'appendice.

Durante la parte pratica di questo corso, alle corsiste e ai corsisti sarà inoltre dato modo di compilare tale formulario di domanda.

Non appena la domanda sia stata verificata e giudicata corretta per quanto attiene all'osservanza delle condizioni tecniche, l'azienda elettrica emette l'autorizzazione.

A questo punto, la persona committente può incaricare la ditta installatrice di procedere all'esecuzione.

Questa, poco prima di iniziare i lavori, inoltra all'azienda elettrica la necessaria notifica. Con ciò comunica che l'impianto per cui venne chiesta l'autorizzazione sarà effettivamente realizzato.

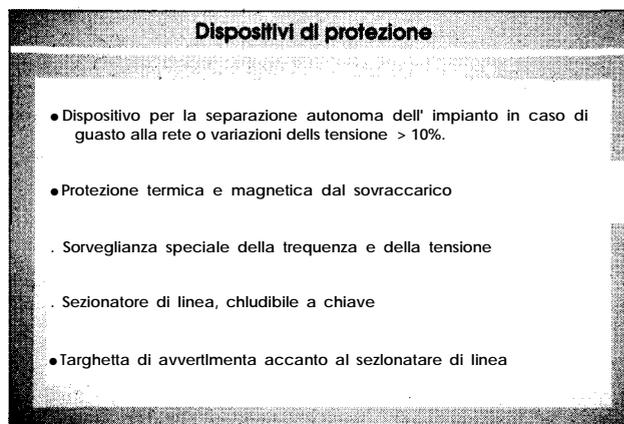
L'azienda elettrica verifica la notifica ricevuta e, se del caso, comunica talune precisazioni per quanto attiene alle disposizioni (p.e. accessibilità del sezionatore di linea, modalità della misurazione dell'energia ecc.).

Nelle disposizioni tecniche trasmesse alla persona richiedente insieme al formulario per la domanda di allacciamento, si distinguono due tipi di condizioni da rispettare:

- dispositivi di protezione e
- condizioni tecniche.

Riguardo ai dispositivi di protezione, ecco i punti da osservare:

Lucido 40



40

8.2.3 Dispositivi di protezione

Il dispositivo di stacco autonomo dell'impianto in caso di guasto sulla rete, di sbalzi di tensione > 10% o di disturbi nella regolazione dell'impianto fotovoltaico serve a separare istantaneamente quest'ultimo dalla rete.

L'impianto deve essere dotato di un disgiuntore termico per la protezione dal sovraccarico e di un disgiuntore magnetico per la protezione dai cortocircuiti.

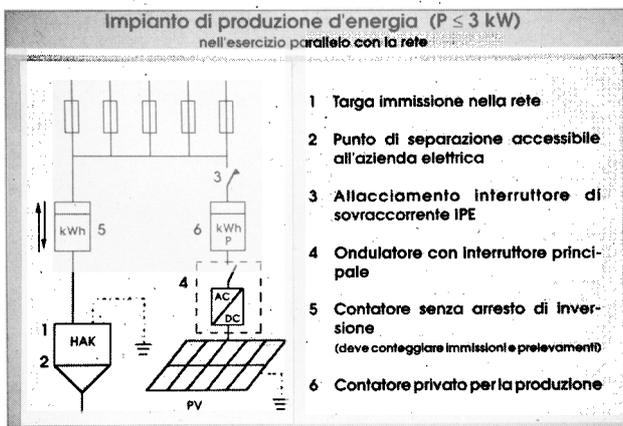
La protezione dai cortocircuiti deve ovviamente anche essere in grado di disinserire in modo sicuro le correnti di cortocircuito alimentate sul lato della rete.

Sull'impianto fotovoltaico deve agire una sorveglianza di frequenza con un valore di intervento di 50 Hz $\pm 1\%$ e un relé con un valore di intervento di $\pm 10\%$. Il sezionatore di linea prescritto deve garantire che vi sia una separazione visibile, chiudibile, ma tuttavia accessibile in qualunque istante per il personale dell'azienda o il corpo pompieri. Se detto sezionatore di linea si trova all'interno dell'edificio, l'accessibilità può eventualmente essere realizzata mediante una chiave a tube.

Affinché nel caso di lavori sulla rete si sia avvertiti della presenza degli IPE, nella stazione di trasformazione, segnatamente in prossimità dell'uscita dei corri-

spettivi cavi a bassa tensione, vicino al punto di separazione tra l'impianto fotovoltaico e la rete, e vicino all'allacciamento dell'interruttore di sovracorrente è necessario apporre una targa con l'avvertenza <<Attenzione: impianto con immissione nella rete>>. A questo punto, vi prego di non spaventarvi se le spiegazioni appaiono molto tecniche. Il lucido seguente illustrerà come tutte queste barriere di sicurezza potrebbero essere realizzate nella pratica per una casa unifamiliare.

Lucido 41



41

8.2.4 Impianto di produzione d'energia (P < 3 kW) nell'esercizio parallelo con la rete

Le condizioni tecniche di allacciamento per gli impianti fotovoltaici sono presto elencate. Per le variazioni di tensione o le ripercussioni sulla rete generate dalla presenza dell'impianto fotovoltaico valgono i seguenti valori limite:

Lucido 42

Condizioni tecniche di allacciamento

- Variazioni massime della tensione dovute al commutamento dell'impianto fotovoltaico: 3 %
- Armoniche prodotte nel punto di connessione con la rete: seguire la Norma ASE 3600

armoniche di rango		armoniche di rango	
3.	0,85 %	2.	0,3 %
5.	0,65 %	4. - 40.	0,2 %
7.	0,6 %		
9., 11.	0,4 %		
13.	0,3 %		
15. - 39.	0,25 %		

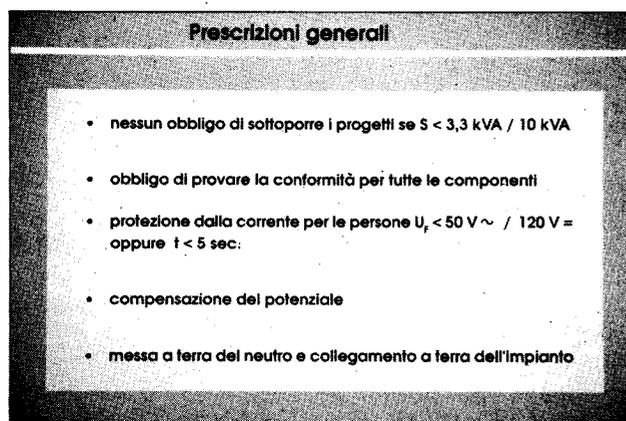
42

8.2.5 Condizioni tecniche di allacciamento

Le variazioni della tensione al momento dell'inserimento o del disinserimento dell'impianto fotovoltaico possono essere al massimo del 3%. I contributi di armoniche ammissibili non possono superare i valori definiti nella Norma ASE 3600 oppure nella tabella 10.43 delle prescrizioni aziendali dell'Azienda elettrica del Cantone Zurigo.

8.3 Prescrizioni da osservare per l'installazione elettrica di impianti fotovoltaici

Lucido 43



43

8.3.1 Prescrizioni generali

In vista di conseguire l'autorizzazione d'esercizio, una grande agevolazione consiste nel fatto che gli impianti con delle potenze fino a 3,3 kVA monofase o 10 kVA trifase sono parificati agli impianti elettrici interni, purché vengano installati su un terreno di propria proprietà. Con ciò si evita di dover sottoporre i progetti.

In casi del genere, gli installatori devono tenere presente che tutte le componenti dell'impianto fotovoltaico sottostanno all'Ordinanza sui prodotti elettrici a bassa tensione, e che per esse vige l'obbligo di provarne la conformità.

Per gli elementi di protezione vige inoltre l'obbligo di omologazione: essi devono dunque essere muniti del simbolo che ne attesti la sicurezza.

Anche per gli impianti fotovoltaici vale il principio della sicurezza per le persone. Ciò significa che, per tempi superiori a 5 sec, la tensione di contatto non può comportare più di 50 Volt a tensione alternata risp. 120 Volt a tensione continua. Qualora i moduli potessero venir toccati stando con i piedi al suolo e necessaria una recinzione dell'impianto al fine di proteggere le persone e gli animali. Se tale misura non può essere messa in atto, le apparecchiature devono soddisfare i requisiti della classe di protezione 2 (superisolamento).

L'intero campo fotovoltaico deve essere integrato nella compensazione del potenziale.

Se l'impianto fotovoltaico è previsto per produrre corrente forte ($I > 2 \text{ A}$), deve in ogni caso essere collegato a terra e venir integrato nel sistema parafulmini dell'edificio. A questo punto va però ricordato che, per principio, la presenza di un impianto fotovoltaico non crea l'obbligo per l'edificio di disporre di un parafulmine.

Dato che non tutti gli edifici sono muniti di un collegamento a terra, può darsi che costruendo un impianto fotovoltaico in edifici esistenti sia necessario posare anche il collegamento a terra (p.e. presa di terra a nastro o di profondità).

8.3.2 Protezione dalla sovratensione e dalla sovracorrente

Dove i cavi provenienti dal campo fotovoltaico entrano nell'edificio devono essere posati degli elementi di protezione dalla sovratensione. Simili scaricatori di sovratensione devono essere messi in contenitori difficilmente infiammabili. Se una simile cassetta terminale viene a trovarsi all'esterno dell'edificio, deve soddisfare almeno i requisiti d'incombustibilità della categoria 1P 54.

Sul lato primario dell'ondatare devono pure essere previsti degli scaricatori di sovratensione. In presenza di cavi di collegamento molto brevi tra l'entrata nell'edificio e l'ondatare, si può tuttavia rinunciare alla posa di simili scaricatori.

Sia sul lato primario (a corrente continua), sia sul lato secondario (a corrente alternata), le condutture devono essere protette dalla sovracorrente e dal cortocircuito. Alla protezione meccanica e alla resistenza alla luce dei cavi deve essere riservata una particolare attenzione. Dato che è impossibile assicurare la protezione elettrica dei cavi in caso di cortocircuito, il cablaggio deve essere munito di superisolamento e va posato in modo che resista alle dispersioni a terra e ai cortocircuiti:

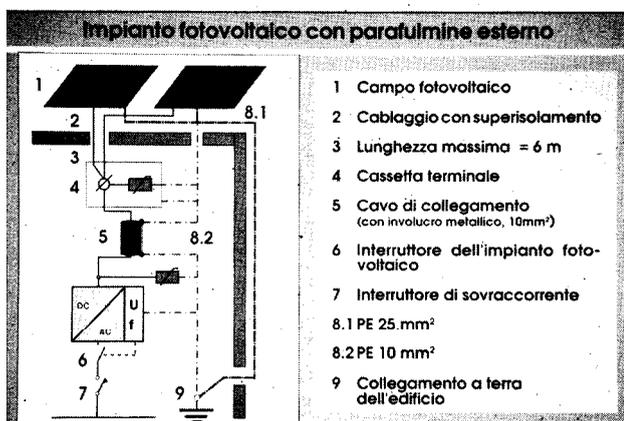
I conduttori che collegano la cassetta terminale all'ondatare devono essere provvisti di un involucro metallico o essere posati dentro un tubo di metallo in grado di sopportare sollecitazioni meccaniche. La conducibilità di questo rivestimento di metallo deve corrispondere come minimo a quello di un conduttore di rame avente una sezione di 10 mm^2 .

8.3.3 Esecuzione del collegamento a terra e della compensazione del potenziale

Sul lato dell'ondulatore, è necessario collegare a terra l'involucro dei conduttori che uniscono la cassetta terminale all'ondulatore.

Sul lato della cassetta terminale, a dipendenza della presenza o no di un parafulmine esterno, bisogna procedere nel modo seguente:

Lucido 44



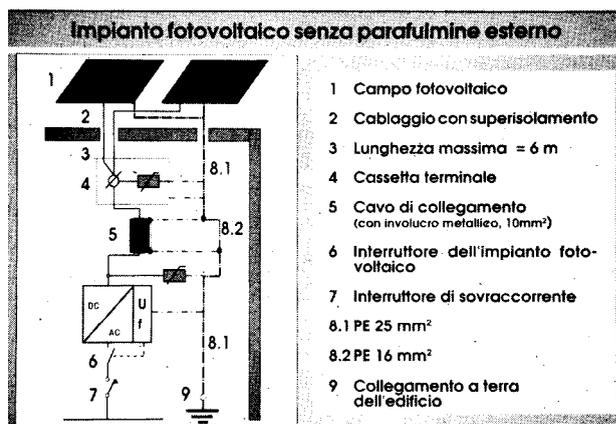
44

8.3.4 Impianto fotovoltaico con parafulmine esterno

L'involucro metallico del cavo di collegamento o il capo del tubo deve essere collegato con i telai metallici dei moduli e con l'impianto parafulmine (sezione: min. 10 mm² Cu).

In maniera generale, si può dire che negli edifici dotati di una protezione esterna contro i fulmini il collegamento dai moduli fino alla terra dell'edificio deve comportare, all'interno dell'edificio, una sezione di almeno 10 mm² Cu. Il collegamento all'esterno dell'edificio, passando dal parafulmine tra i moduli e la terra dell'edificio, deve comportare una sezione di almeno 25 mm²

Lucido 45



45

8.3.5 Impianto fotovoltaico senza parafulmine esterno

Visto che negli edifici privi di una protezione esterna dai fulmini il collegamento tra i telai dei moduli e la terra dell'edificio viene realizzato solo all'interno dell'edificio stesso, esso deve avere ininterrottamente una sezione di almeno 25 mm² Cu.

In questo caso, in prossimità dei conduttori che uniscono la cassetta terminale all'ondulatore può essere posato un conduttore di protezione avente una sezione di almeno 16 mm² Cu, dato che il rivestimento metallico dei conduttori di collegamento già presenta una sezione di 10 mm².

Ovviamente, è preferibile che il collegamento tra telai dei moduli e terra dell'edificio sia realizzato in modo continuo con una sezione di 25 mm².

8.4 Strumentazione di misura e collaudo

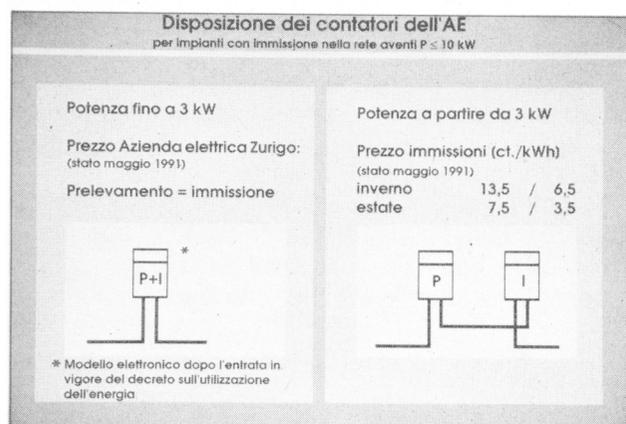
8.4.1 Strumentazione di misura

La disposizione dei contatori può presentarsi diversa secondo le aziende elettriche. Gli esempi illustrate qui in seguito valgono in particolare per gli impianti fotovoltaici ubicati entro il comprensorio distributivo dell'Azienda elettrica del Cantone Zurigo. Si raccomanda dunque di contattare l'azienda elettrica competente per la propria regione prima di procedere all'installazione o, meglio ancora, già in sede di progettazione, al fine di informarsi sul tipo e l'esecuzione del punto di misura.

La cosa piú semplice è naturalmente che la persona interessata si informi sulle caratteristiche del punto di misura già al momento del primo contatto, ossia quando sollecita il formulario per la domanda d'auto-rizzazione. Talune aziende elettriche seguono addirittura la prassi di fornire, unitamente a detto formulario, una scheda informativa sulle possibili disposizioni dei contatori.

Per quanto concerne la disposizione dei contatori per gli impianti con immissione nella rete, le aziende elettriche distinguono quattro casi; siccome nel presente corso consideriamo solo gli impianti fino a 10 kVA, le possibili disposizioni dei contatori si riducono tuttavia a due.

Lucido 46



46

8.4.2 Disposizione dei contatori negli impianti con immissione nella rete aventi P < 10 kW

L'Azienda elettrica del Cantone Zurigo esige per gli impianti fotovoltaici con una potenza fino a 3 kW un solo contatore. Questo contatore è senza arresto di inversione: gira dunque in avanti quando viene prelevata corrente dalla rete dell'azienda, e gira indietro quando la corrente prodotta nell'impianto fotovoltaico viene immessa nella rete di questa stessa azienda.

Quando entrerà in vigore il decreto sull'utilizzazione dell'energia - che impone il conteggio separato dei prelievi e delle immissioni —, le Aziende elettriche del Cantone Zurigo saranno in possesso di contatori elettronici capaci di registrar queste due grandezze di prelievo e immissione. Ciò significa

che, allora, verranno sostituiti i contatori sin qui montati in simili impianti.

Per conoscere la produzione degli impianti fotovoltaici si consiglia di posare un contatore o registratore privato.

Se la potenza nominale dell'impianto fotovoltaico è tra 3 kW e 10 kW, in serie con il contatore di prelievo dalla rete, deve essere montato anche un contatore per l'immissione.

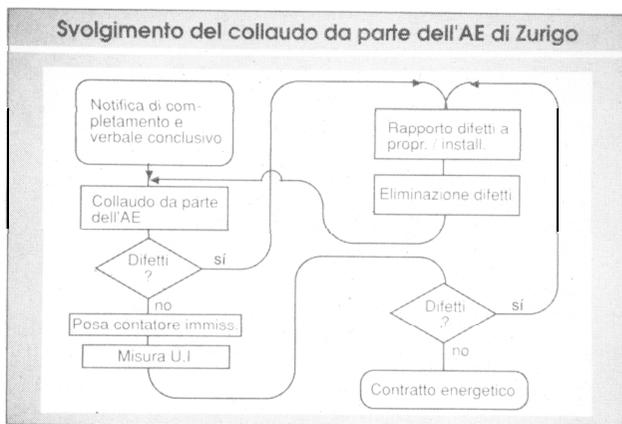
E anche in questo caso, si consiglia di dotarsi di un contatore privato per la produzione, giacché altrimenti si conoscerebbero solo i dati relativi all'immissione, ma non la produzione dell'impianto.

8.4.3 Collaudo da parte dell'azienda

L'Azienda elettrica del Cantone Zurigo esegue un collaudo in due tempi, ossia:

- un collaudo tecnico -
- un controllo dell'esecuzione dell'installazione

Lucido 47



47

8.4.4 Svolgimento del collaudo

Con una notifica di completamento e un verbale conclusivo, la ditta installatrice sollecita il collaudo, da parte dell'azienda elettrica.

Durante il collaudo tecnico si verifica se siano state rispettate le condizioni tecniche. Una particolare attenzione è riservata al disinserimento dell'impianto fotovoltaico in caso di guasto alla rete e ai contributi di tensione derivanti dalle armoniche.

Durante il controllo dell'installazione, l'attenzione si concentra sul dimensionamento della compensazione di potenziale e dei collegamenti a terra. Ovviamente, anche per tutte le altre componenti si verifica che rispondano alle Prescrizioni sugli impianti elettrici interni dell'ASE e a quelle dell'azienda elettrica.

Se durante il collaudo si constatano dei difetti, essi sono denunciati per scritto alla persona proprietaria dell'impianto e alla ditta installatrice.

Quando l'impianto non presenta più alcun difetto, avviene la posa del contatore per l'immissione di corrente nella rete, e l'impianto è messo in funzione provvisoriamente in collaborazione con l'azienda.

A questo punto, l'Azienda elettrica del Cantone Zurigo misura per almeno una settimana la tensione, le armoniche e la corrente che l'impianto fotovoltaico immette nella rete.

Se le grandezze misurate non oltrepassano i valori autorizzati, la persona proprietaria dell'impianto ottiene l'autorizzazione d'esercizio parallelo con la rete, e il contratto di fornitura d'energia per quanto riguarda le immissioni di corrente.

Ora che tutte le condizioni sono soddisfatte, l'azienda firma questo contratto di fornitura d'energia con la persona proprietaria dell'impianto fotovoltaico.

8.5 Elenco di verifica per la messa in esercizio

Quando tutte le installazioni elettriche sono realizzate a regola d'arte come pure nel rispetto delle prescrizioni di sicurezza e d'installazione menzionate, l'impianto è tecnicamente pronto per entrare in servizio. Prima della commutazione parallela con la rete pubblica, questo impianto deve essere collaudato dall'azienda elettrica competente.

Se l'impianto non presenta difetti può essere messo in esercizio. La sequenza da rispettare è allora:

1. Inserire l'automatico di sicurezza nel quadro elettrico. All'uscita dell'ondulatore deve ora trovarsi una tensione di rete di 230 V.
2. Se la cassetta terminale è dotata di valvole, questo è il momento di inserirle.
3. Inserire l'interruttore della corrente continua. All'entrata dell'ondulatore deve ora riscontrarsi la tensione del campo fotovoltaico.
4. Ultima operazione: inserire l'interruttore principale dell'ondulatore.

Se l'ondulatore produce un leggero brusio, se dopo qualche tempo l'elemento raffreddante si presenta appena tiepido al tatto o se il contatore di kWh supplementare sta rotando significa che l'ondulatore lavora a dovere.

9 Lavori sui tetti

La statistica degli incidenti di cantiere e a tutt'oggi dominata dalle cadute. Sia per inavvertenza sia per la preoccupazione di risparmiare tempo e denaro, v'è tendenza a tralasciare i provvedimenti di protezione o a posarli quando è troppo tardi. Quasi tutti gli impianti fotovoltaici funzionanti oggi in Svizzera sono stati montati su tetti esistenti. La posa delle strutture portanti sul tetto, il montaggio e il cablaggio dei moduli, i collegamenti per il parafulmine esigono che copritetto, lattonieri ed elettricisti lavorino sul tetto. Importantissimo è dunque che la persona responsabile preveda e verifichi la messa in atto delle misure protettive. Ecco brevemente riassunte le misure principali imposte dall'INSAI:

- a) In presenza di altezze di lavoro oltre i 3 m, sui tetti piani e a falde è d'obbligo realizzare misure protettive, quali p.e.:
 - ponteggio protettivo
 - parete protettiva
 - aggancio mediante cordone
 - ringhiera protettiva

- b) I tetti in materiali dalla portata limitata (segnatamente in lastre di fibrocemento) sono praticabili solo se si adottano misure protettive quali:
 - passerelle (assi)
 - reti

Informazioni particolareggiate in merito si trovano nelle seguenti pubblicazioni dell'INSAI:

INSAI 1805i Ordinanza concernente la prevenzione degli infortuni per lavori di qualsiasi genere inerenti ai tetti

INSAI 44002i Cinture di sicurezza

INSAI 44009i Reti di sicurezza

INSAI 22024i Sicurezza nei lavori inerenti ai tetti

10 Manutenzione

10.1	Manutenzione e controlli
------	--------------------------

70

10 Manutenzione

Le centrali fotovoltaiche producono energia elettrica senza impiegare macchine rotanti. Ciò lascia presumere che questo tipo di centrale elettrica non richieda alcuna manutenzione. In materia di applicazioni terrestri delle celle fotovoltaiche disponiamo oggi di un'esperienza ormai ventennale. Quest'esperienza ci consente di affermare che le celle fotovoltaiche stesse non richiedono nessuna manutenzione.

Per quanto attiene alle altre componenti necessarie in un impianto fotovoltaico, le esperienze non sono altrettanto lunghe, e ciò essenzialmente perché la tecnologia solare soggiace a un incessante cambiamento. Negli anni passati si è ista l'elettronica solare andare particolarmente soggetta a disturbi: infatti si tratta di prodotti di altissima tecnologia, con caratteristiche del tutto nuove, montati in un ambiente molto esigente, dove poi sono abbandonati al loro destino nell'esercizio automatico autogestito. Gli sviluppi degli ultimi anni mostrano tuttavia che anche qui si sono fatti progressi enormi, e che altrettanti progressi possono ancora essere compiuti.

Lucido 48

Manutenzione e controlli	
Persona responsabile	Elettricista
<ul style="list-style-type: none"> • confronto produzione/aspettative • controlli ottici : <ul style="list-style-type: none"> - cablaggio - fissaggio meccanico • interventi all'ondulatore solo in caso di perturbazione <p>Una pulizia delle celle fotovoltaiche è di regola superflua.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • verifica della tensione nominale e della corrente nominale • verifica dei dispositivi di sicurezza e degli elementi di sovratensione • verifica della resistenza di isolamento

48

10.1 Manutenzione e controlli

In merito alla manutenzione e ai controlli occorre distinguere tra mansioni affidate alla persona responsabile dell'esercizio e mansioni di competenza dell'elettricista. La persona responsabile deve sorvegliare il funzionamento e prestare attenzione in particolare ai punti seguenti:

- soprattutto nelle prime settimane dopo la messa in funzione dell'impianto, è opportuno confrontare quotidianamente la produzione effettiva con le aspettative;
- è buona prassi annotare mensilmente la produzione di corrente elettrica dell'impianto fotovoltaico: questo è un modo per accertarsi che lavori in maniera corretta e per essere in grado di chiamare tempestivamente l'elettricista qualora sorgessero dei disturbi che ne richiedano l'intervento.

Oltre a questi controlli, la persona responsabile dovrebbe procedere almeno annualmente a un controllo visivo dell'impianto. Le componenti da verificare sono il cablaggio e il fissaggio meccanico dei moduli. Nel caso del cablaggio si guarderà in particolare che non vi siano danni dovuti agli agenti atmosferici, né portacavi difettati o addirittura cavi sciolti. Quanto al fissaggio meccanico dei moduli si controllerà se non vi siano danni da corrosione. Un velo di ruggine, di per sé un'innocua ossidazione superficiale con colorazione rossa, non rappresenta alcun pericolo per le strutture.

Del tutto superflua è la pulizia regolare delle celle fotovoltaiche. La possibile riduzione della resa energetica è maggiore negli agglomerati urbani che nelle campagne e anch'egli negli agglomerati urbani la riduzione non dovrebbe superare qualche punto percentuale.

Gli interventi di manutenzione all'ondulatore sono limitati ai casi di perturbazione dell'esercizio. La maggior parte degli ondulatori sono dotati a questo scopo di un indicatore.

Per l'elettricista vi sono ulteriori possibilità di verificare il funzionamento corretto dell'impianto. Può controllare le tensioni e le correnti nominali delle stringhe. A questo scopo toglierà le valvole delle singole stringhe o, laddove si fossero impiegati diodi, disinnesterà le stringhe. Poi misurerà le singole tensioni a circuito aperto e le correnti di cortocircuito delle stringhe.

Avendo adottato valvole e altri elementi di sicurezza per le stringhe, è opportuno controllarli. Le valvole difettate non solo devono essere sostituite, ma occorre pure controllare quale sia la causa del loro difetto. In un circuito a corrente continua, la presenza di valvole difettate costituisce un segnale d'allarme: è necessario ricercare la causa. Se l'errore non è identificabile, è indispensabile sollecitare l'intervento di un ufficio di consulenza. L'elettricista può inoltre controllare gli eventuali elementi di sovratensione (soprattutto dopo

un forte temporale, qualora si presumesse che un fulmine sia caduto direttamente sull'impianto o nelle sue vicinanze). I quattro elementi di protezione dalla sovratensione maggiormente diffusi sono: i varistori in ossidi di metallo (SIOV), gli scaricatori di sovratensione con riempimento di gas nobili (UsAg), i diodi di limitazione ad effetto valanga e i diodi Zener. Sul lato a corrente continua non sono ammessi gli scaricatori di sovratensione con riempimento di gas nobili, poiché una scintilla provocata da una scarica disruptiva non si spegnerebbe (visto che la corrente continua non conosce il passaggio per lo zero). Di regola, nelle schede dei dati, le correnti scaricabili (onda rettangolare 20 usec) sono riportate in funzione del livello di protezione assicurato.

Molto frequente è l'impiego di varistori. In base al meccanismo di conduttività presente nell'elemento varistore — così come lo conosciamo oggi con 15 anni di esperienze alle spalle — possiamo desumere che i varistori, a seguito delle ripetute sollecitazioni, sono soggetti a invecchiamento quanto alla protezione che offrono. Nel varistore possono crearsi percorsi conduttivi, con conseguenti correnti di fuga e, in relazione ad esse, un progressivo riscaldamento del varistore stesso. Un simile varistore, già fortemente danneggiato da sovratensioni, può costituire un significativo pericolo di incendio. Per questa ragione, spesso si adottano varistori che a seguito di un simile inammissibile riscaldamento generano essi stessi un percorso per la corrente; questo processo viene segnalato otticamente, e ciò agevola il controllo effettuato dall'esterno.

A causa del loro maggiore costo, simili varistori non trovano applicazione ovunque. I guasti dovuti a varistori difettati sono comunque rari.

Nelle competenze dell'elettricista rientra pure il controllo della resistenza di isolamento. La misura va fatta sul campo fotovoltaico cortocircuitato. Il cortocircuito è necessario affinché la tensione di collaudo non faccia saltare i diodi di cui sono eventualmente dotate le stringhe; una sola misura consente allora di verificare lo Stato dell'isolamento dei due conduttori attivi (polo positivo e negativo). Durante questa operazione, le stringhe dovrebbero essere misurate singolarmente o a paia affinché la corrente di cortocircuito non assuma valori eccessivi. L'entità della tensione continua di collaudo dovrebbe situarsi circa il 15% al di sotto del valore che la fabbrica indica per l'omologazione.

Documentando la misura dell'isolamento è bene non registrare solo il valore della resistenza di isolamento,

ma anche le condizioni atmosferiche in cui la misura ha avuto luogo. A questo proposito è interessante il parametro dell'umidità relativa dell'aria.

11 Impianti autonomi

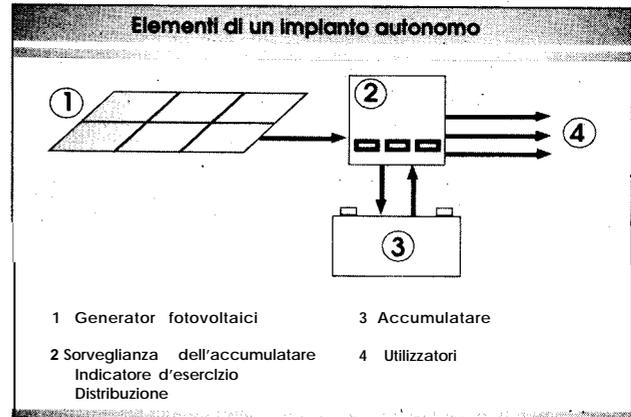
11.1	Elementi di un impianto autonomo	74
11.2	Impianti autonomi: ripetitore	75
11.3	Impianti autonomi: approvvigionamento energetico alpino	75
11.4	Impianti autonomi: pompa per piscina	76
11.5	Regolazione di carica / sorveglianza dell'accumulatore / distribuzione	76
11.6	L'accumulatore come riserva di energia	77
11.7	Carica e scarica dell'accumulatore al piombo	77
11.8	Struttura di un accumulatore al piombo	78
11.9	Accumulatore: capacità	79
11.10	Accumulatore: autoscarica	79'
11.11	Accumulatore: tensione finale di carica	80
11.12	I quattro <<peccati mortali>> nel manipolare accumulatori al piombo	80
11.13	Ondulatore	80
11.14	Sistema a bassa tensione	81

11 Impianti autonomi

Per impianto autonomo si intende un impianto di produzione della corrente indipendente, non allacciato alla rete pubblica. Di regola, un simile impianto viene costruito in luoghi distanti dalla rete pubblica. Ciò è il caso p.e. dove si tratta di approvvigionare case residenziali e di vacanza discoste dagli insediamenti, ristoranti di montagna, capanne alpine, edifici agricoli nelle campagne e sugli alpi. A questi vanno oggi aggiunti i vari dispositivi di regolazione e monitoraggio nei settori della gestione delle acque, delle costruzioni fluviali, della ricerca sulle nevi e le valanghe, delle osservazioni meteorologiche, che pure sono alimentati dalle celle fotovoltaiche. Anche talune strutture nel campo delle telecomunicazioni, i segnali stradali telecomandati, le insegne pubblicitarie, le pompe e la regolazione di impianti termici solari, le pompe per l'acqua potabile e l'acqua d'irrigazione lavorano con le celle fotovoltaiche. Accanto a simili impianti stazionari esiste inoltre tutta una serie di applicazioni mobili: orologi, calcolatori tascabili, radio solari, lampadine solari e recinzioni elettrificate per il bestiame.

Gli esempi che ora seguono hanno lo scopo di illustrare le possibili applicazioni. Di regola, simili sistemi decentrati sono realizzati nella gamma delle piccole potenze. Il pericolo che ne deriva per l'edificio e l'impianto stesso è legato alle manipolazione errate della batteria.

Lucido 49

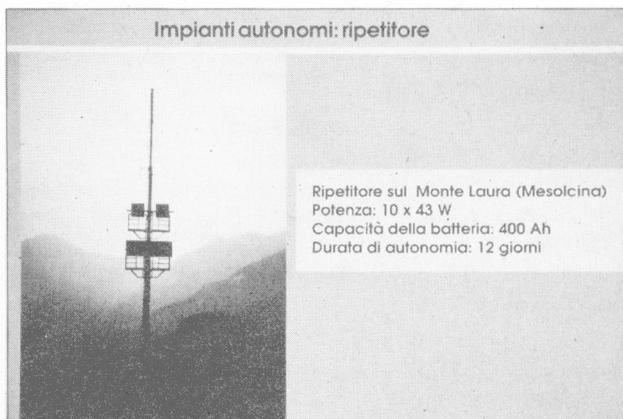


49

11.1 Elementi di un impianto autonomo

Un impianto autonomo è costituito dal generatore fotovoltaico, un regolatore di carica per la batteria e gli utilizzatori. Nel caso ideale, detti utilizzatori lavorano a corrente continua. Se si impiegano apparecchi speciali, reperibili sul mercato solo nella variante destinata alla corrente alternata, è necessario intercalare un ondulatore. L'ondulatore per gli impianti autonomi si distingue tuttavia profondamente dagli ondulatori destinati all'immissione nella rete, sia nelle sue funzioni di controllo, sia nei suoi requisiti quanto al fattore di distorsione e ai dispositivi di sorveglianza. Inoltre, l'ondulatore di un impianto autonomo deve anche essere in grado di fornire parti di corrente reattiva. Nel campo degli impianti autonomi si dovrebbe tentare qualunque possibile di progettare dei sistemi che non richiedano la presenza di un ondulatore. Ciò consente di ridurre le perdite, ma anche di non doversi preoccupare di un apparecchio che richiede interventi di manutenzione.

Lucido 50



50

11.2 Impianti autonomi: ripetitore

I ripetitori sono impianti con un'importante funzione nel campo delle telecomunicazioni e delle reti radiofoniche e televisive. Per loro natura sono piazzati in luoghi impervi, ragione per cui potrebbero essere allacciati alla rete solo con una spesa del tutto spropositata. Offrono dunque l'occasione ideale per un'applicazione della tecnologia fotovoltaica. La fotografia mostra l'impianto sul Monte Laura. Stazioni simili si trovano in grande numero in tutto il mondo anche per la sicurezza autostradale. La potenza richiesta è di regola modesta. Ma poiché deve essere fornita giorno e notte, è necessario sovraddimensionare il campo fotovoltaico al fine di garantire anche in periodi di maltempo la piena disponibilità dell'energia. Oltre al requisito di un'elevata sicurezza nel funzionamento, dimensionando simili impianti occorre tenere presente anche il maggiore pericolo di fulminazione cui sono esposti.

Lucido 51



51

11.3 Impianti autonomi: approvvigionamento energetico alpino

Gli alpi è raro che siano allacciati alla rete elettrica. A dipendenza del fabbisogno di energia, si rende necessario un impianto fotovoltaico più o meno grande. Nel caso dei piccoli impianti, come quelli richiesti p.e. per una semplice illuminazione, bastano uno a due moduli. Se l'energia solare deve invece alimentare delle macchine, occorre che il campo fotovoltaico sia molto più grande. Laddove gli alpi sono occupati alternativamente, per non costruire un impianto in ciascuno di essi si è già fatto ricorso in parecchi casi agli impianti mobili. Gli impianti di questo tipo è opportuno che lavorino con tensioni di sistema basse perché v'è da presumere che di solito siano dotati di un collegamento a terra del tutto insufficiente. In Svizzera, attualmente, sono circa 10'000 gli alpi e le casette di vacanza difficilmente accessibili riforniti di energia solare. Dato che il loro fabbisogno si limita di solito all'illuminazione, uno a due pannelli fotovoltaici risolvono egregiamente il problema.

Lucido 52



52

11.4 Impianti autonomi: pompa per piscina

I collettori termici necessitano di regola una pompa di circolazione per il fluido termovettore. Le potenze di simili pompe sono solitamente assai modeste e ciò rende interessante la soluzione con un impianto fotovoltaico. Più il sole splende, più l'acqua nei collettori si riscalda e più veloce deve essere la circolazione del fluido termovettore nei collettori. In simili momenti, anche le celle fotovoltaiche producono più corrente e alimentano il necessario aumento di potenza della pompa. Ecco perché simili sistemi possono funzionare bene anche senza accumulatore.

Lucido 53



53

11.5 Regolazione di carica / sorveglianza dell' accumulatore / distribuzione

Gli impianti autonomi contengono in pratica tutti un regolatore che gestisce i flussi di energia dalla cella fotovoltaica alla batteria risp. all'utilizzatore. Un simile regolatore fotovoltaico assolve le funzioni seguenti:

- Il regolatore registra lo stato della batteria d'accumulo.
- In base alla disponibilità di energia solare, lo stato degli accumulatori e il fabbisogno di energia nei carichi, regola la corrente di carica.
- Se il consumo dei carichi allacciati oltrepassa l'offerta di corrente del campo fotovoltaico (p.e. nottetempo), allora gli utilizzatori sono alimentati dalla batteria. Per prevenire la scarica eccessiva delle batterie, esso disinserisce questi carichi. A dipendenza delle funzioni di cui è dotato il regolatore, questo stato viene segnalato preventivamente, per consentire di ridurre il consumo dell'utilizzatore.

Lucido 54

L'accumulatore come riserva d'energia

L'accumulazione è necessaria,

- se la disponibilità di energia solare e il consumo sono differiti nel tempo, come p.e. per l'illuminazione notturna.
- se l'utilizzatore necessita di un apporto regolare di energia, dunque anche in momenti in cui l'irraggiamento solare è debole o assente, come p. e. un ripetitore.

Specifiche dell'accumulatore:

- elevata resistenza ai cicli, durevolezza
- elevato rendimento di accumulo
- insensibilità rispetto a manipolazioni errate
- poca o nessuna manutenzione
- debole autoscarica
- prezzo conveniente

54

11.6 L'accumulatore come riserva di energia

Quando occorre prevedere l'accumulazione di energia? Essenzialmente in due casi:

- Quando captazione e consumo sono sfasati nel tempo, come p.e. per l'illuminazione notturna. La corrente di carica e la corrente di scarica sono all'incirca dello stesso ordine di grandezza.
- Quando (ed è il caso degli impianti solari) la captazione si presenta irregolare, mentre il fabbisogno è regolare (p.e. ripetitore, v. lucido 50). La corrente di carica massima supera di circa 8 volte la corrente di scarica continuata.

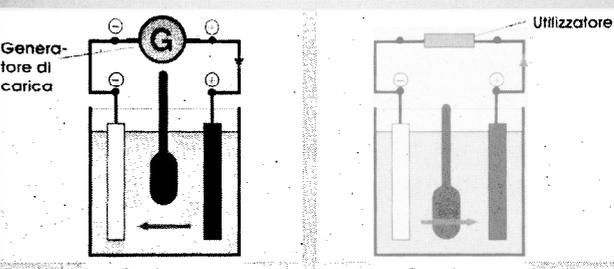
Il tempo di autonomia, ossia la capacità di compensare le irregolarità, dovrebbe essere di 10 giorni circa, affinché sia possibile superare i periodi di maltempo. L'accumulatore ideale presenta le seguenti caratteristiche:

- elevata resistenza ai cicli, durevolezza
- elevato rendimento di accumulo
- assenza di autoscarica
- insensibilità alle manipolazioni errate
- poca o nessuna manutenzione
- prezzo conveniente

Questi requisiti non possono essere soddisfatti tutti contemporaneamente in modo ottimale. Taluni modelli di accumulatore al piombo si avvicinano però molto al profilo ideale.

Lucido 55

Carica e scarica dell'accumulatore al piombo



Carica

- La piastra negativa diventa piombo
- La piastra positiva diventa perossido di piombo
- La densità dell'acido aumenta

Scarica

- La piastra negativa diventa solfato di piombo
- La piastra positiva diventa solfato di piombo
- La densità dell'acido diminuisce

55

11.7 Carica e scarica dell'accumulatore di piombo

11.7.1 Carica

Nella pila al piombo scarica, tanto l'elettrodo negativo quanto quello positivo si compongono di solfato di piombo. L'elettrolito è acido solforico diluito (densità circa 1,12 kg/l), composto da circa il 17 % di acido solforico non diluito (H_2SO_4) e circa l'83% di acqua. Questa proporzione di acido solforico assicura una sufficiente conducibilità dell'elettrolito. L'acqua pura non condurrebbe la corrente elettrica. Se la pila al piombo deve essere caricata, si collegano i suoi due elettrodi con un generatore di corrente continua (cella fotovoltaica, regolatore di carica), segnatamente così che l'elettrodo positivo della pila al piombo sia connesso con il polo positivo della sorgente di corrente continua, e l'elettrodo negativo con il polo negativo. Il processo della carica — contrariamente a quello della scarica che descriveremo in seguito — non avviene in modo spontaneo, ma è ottenuto con la forza, ossia adducendo energia elettrica, cosicché, dopo, la carica, la pila raggiunge un livello energetico più elevato. Durante il processo di carica, attorno al polo negativo si crea del piombo, mentre attorno a quello positivo si crea perossido di piombo. La densità dell'elettrolito, essendo aumentata durante la carica, raggiunge ora circa 1,28 kg/l (37 % acido solforico, 63 % acqua).

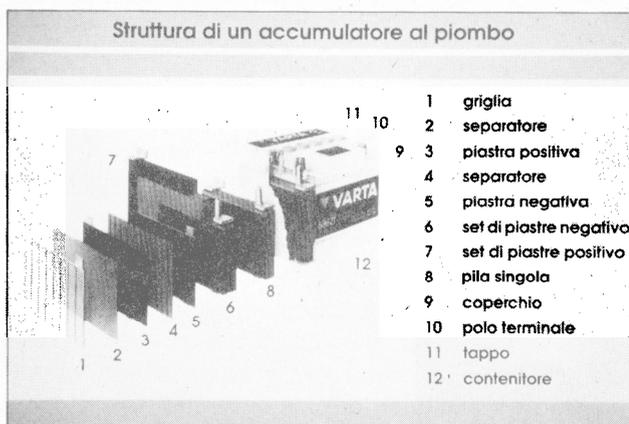
11.7.2 Scarica

Lo stato iniziale prima della scarica e la pila al piombo carica. Se i due poli di una pila al piombo sono allacciati tra di loro per il tramite di un utilizzatore (p.e. una

lampada a incandescenza), a seguito della differenza di potenziale presente tra questi poli (tensione della pila), gli elettroni fluiscono dall'elettrodo negativo attraverso l'utilizzatore all'elettrodo positivo. Durante il processo di scarica, attorno ai due elettrodi si forma solfato di piombo.

Entrambi gli elettrodi sono ora ritornati allo stato iniziale: l'energia chimica accumulate nella pila è stata riconvertita in energia elettrica e prelevata in quanto tale dall'utilizzatore.

Lucido 56



56

11.8 Struttura di un accumulatore al piombo

Nel descrivere il processo di carica e scarica abbiamo sinora preso in considerazione una sola pila, munita di un elettrodo positivo e di uno negativo. In realtà, una batteria si compone di regola di più pile interconnesse a cascata, dotate di un set di piastre positive e negative. Connettendo un certo numero di pile si ottiene una maggiore tensione: una batteria di 12 volt si compone p.e. di 6 pile da 2 volt ciascuna.

Le singole parti dell'accumulatore assolvono le seguenti funzioni:

L'involucro consiste oggi solitamente di polipropilene. Racchiude gli elementi interni proteggendoli dagli influssi esterni e serve da contenitore per l'elettrolito.

La struttura portante e di contatto degli elettrodi si compone di piombo antimoniale: essa assicura il collegamento a bassa resistenza ohmica con la massa

attiva degli elettrodi e deve possibilmente rimanere estranea alle trasformazioni chimiche.

La massa attiva si compone di ossido di piombo al polo positivo e di piombo spugnoso al polo negativo; ha una struttura spugnosa ed è permeabile all'elettrolito.

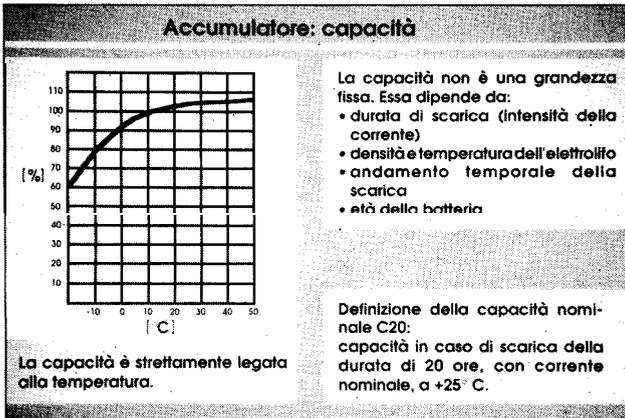
I **separatori** tra gli elettrodi impediscono che si producano cortocircuiti e fissano la massa attiva nelle loro strutture portanti e di contatto.

L'**elettrolito è acido solforico diluito**; esso assicura il trasporto degli ioni tra gli elettrodi ed è dunque responsabile della conduttività.

Gli accumulatori al piombo presentano notevoli differenze a dipendenza delle applicazioni e della qualità. Le differenze maggiori sono riscontrabili nei punti seguenti:

- **Conformazione della piastra positiva:** qui trovano impiego piastre a griglia semplici o rinforzate, piastre a stecche e piastre corazzate.
- **Tenore di piombo per amperora:** esso varia tra 0,2 kg e 0,4 kg per Ah (C_{10}); se l'esercizio avviene in modo corretto, un elevato tenore di piombo aumenta il tempo di vita dell'accumulatore.
- **Tenore di acido per amperora:** esso varia tra 65 cm^2 e 120 cm^2 per Ah (C_{10}); un tenore elevato consente di spaziare gli interventi di manutenzione.

Lucido 57



57

11.9 Accumulatore: capacità

La quantità di energia prelevabile da una batteria è chiamata << capacità >> e serve a caratterizzare la grandezza della batteria in questione. Si misura in ampere-ora (Ah). La capacità non è tuttavia una grandezza costante: dipende tra l'altro dalla forza della corrente di scarica, dalla densità e dalla temperatura degli elettroliti, dall'andamento temporale della scarica (la capacità è infatti maggiore se la scarica avviene con delle pause che non quando avviene in modo ininterrotto) e dall'età della batteria (riduzione della capacità verso la fine del tempo di vita a seguito della riduzione della massa delle piastre).

Per avere una possibilità di confronto, la capacità è spesso riferita all'intensità della corrente di scarica che si ottiene con un tempo di scaricamento di 20 ore e una temperatura dell'elettrolito di +27°C. Ecco un esempio a titolo illustrativo. Per una determinata batteria ci voleva una corrente di scarica di 4,2 A affinché dopo 20 ore raggiungesse la tensione finale di scarica (1,75 V per ogni pila). La capacità di questa batteria ammontava dunque a 4,2A · 20 h = 84 Ah (C20). Se dalla stessa batteria si prelevasse la doppia corrente di scarica (8,4 A), la sua capacità sarebbe inferiore a 84 Ah, e il tempo di scarica risulterebbe presumibilmente inferiore alle 10 ore. L'indicazione della capacità calcolata sulle 100 ore (C₁₀₀), che sempre più frequentemente si vede associata alle << batterie solari >>, trae in inganno: uno sfruttamento ripetuto della capacità di 100 ore è possibile solo se si intercala subito un periodo di carica di 10 ore: il che è quasi impossibile con un impianto fotovoltaico.

Importante: fare i confronti di capacità sempre con lo stesso tempo di scarica !

Quando si scarica completamente un accumulatore, al piombo, il piombo antimoniale delle piastre a griglia incomincia a trasformarsi in solfato di piombo. Se tale stato di cose si mantiene per qualche tempo, questo solfato di piombo incomincia a formare cristalli grossi e duri che pregiudicano la conduttività e fanno gonfiare l'accumulatore con il loro aumento di volume.

Importante: la scarica completa danneggia l'accumulatore. Dopo una scarica completa ricaricare subito !

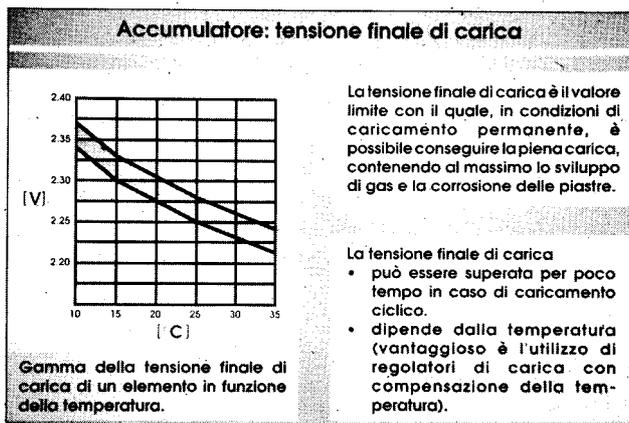
La temperatura è un fattore molto importante. La capacità e la tensione di scarica di una batteria diminuiscono con l'abbassamento della temperatura anche a causa della minore viscosità dell'acido e della maggiore resistenza interna a esso collegata. Ecco perché è importante fare una scelta ponderata del luogo in cui piazzare l'accumulatore.

11.10 Accumulatore: autoscarica

Le batterie al piombo cariche perdono con l'andare del tempo la loro carica anche senza che il circuito esterno della corrente sia chiuso, ossia senza che alla batteria sia allacciato alcunché. Questo fenomeno porta il nome di autoscarica ed è dovuto anzitutto a processi chimici che si svolgono all'interno della batteria. Per le griglie di piombo non si impiega piombo puro bensì, per ragioni di resistenza, una lega di piombo e antimonio. A seguito del deposito di antimonio sulle piastre negative, in una batteria vecchia, tra l'antimonio e la massa attiva della piastra negativa si formano numerosi piccolissimi elementi galvanici cortocircuitati, che riducono la carica della piastra.

L'autoscarica di batterie costruite con leghe di piombo povere di antimonio ammonta mensilmente — a dipendenza dell'età della batteria — a circa un 30% C10 della capacità. In presenza di temperature elevate, l'autoscarica è maggiore che a temperature più basse. L'autoscarica viene inoltre accelerata da un'elevata concentrazione di acido.

Lucido 58



58

11.11 Accumulatore: tensione finale di carica

La tensione finale di carica è il valore limite al quale, in condizioni di caricamento permanente, è possibile ottenere una carica del 100% con uno sviluppo di gas e una corrosione delle piastre del tutto esigui. In caso di caricamento ciclico, questo valore può essere superato per breve tempo. E poiché la tensione finale di carica dipende dalla temperatura, si consiglia di ricorrere a un regolatore di carica con compensazione della temperatura.

11.12 I quattro <<peccati mortali>> nel manipolare accumulatori al piombo

1. **Sovraccarica perenne:** perdita di acqua / corrosione delle piastre a griglia / perdita di capacità / guasto.
2. **Ripetute scariche complete** oltre il 100 % di C20: le piastre a griglia sono trasformate in solfato di piombo/ perdita di capacità e aumento della resistenza interna / guasto.
3. **Immagazzinamento in stato di scarica:** le masse attive formano cristalli grossi e duri di solfato di piombo / gli elementi si gonfiano / perdita di capacità / guasto.

4. Batterie scariche esposte a temperature basse: l'elettrolito può gelare / distruzione del contenitore dell'accumulatore / guasto.

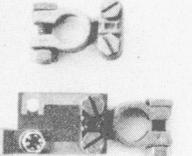
Pericolo di esplosione ! Durante il caricamento si formano idrogeno e ossigeno. Evitare scintille elettriche e fuochi aperti (gas tonante !). Se possibile, posare in locali separati, con il necessario ricambio d'aria.

11.13 Ondulatore

Negli impianti autonomi si è spesso confrontati con l'esigenza sia di dover trasformare la corrente continua immagazzinata nell'accumulatore in corrente alternata sia di disporre di un altro livello di tensione. Questo processo è accompagnato da perdite e dovrebbe, quando possibile, essere evitato. In taluni casi, per alimentare per breve tempo utensili elettrici o apparecchi domestici, è richiesta la tensione alternata di 220 V/50 Hz. Alla scelta di simili ondulatori va dedicata la massima attenzione. Non appena in un impianto autonomo una buona parte dell'energia passa attraverso l'ondulatore, è importante occuparsi del suo rendimento. Occorre inoltre badare che, anche a vuoto, ogni ondulatore assorbe una certa potenza, cosicché il rendimento risulta particolarmente cattivo se il carico è debole. La potenza di un ondulatore deve essere dimensionata in maniera da fare sì che gli utilizzatori che rappresentano la quota maggiore del consumo energetico vengano a situarsi nel punto di maggiore rendimento. È inoltre necessario riflettere se si debbano o no allacciare utilizzatori induttivi che presentino una certa quota di corrente reattiva. La maggior parte degli apparecchi offerti sul mercato non sono in grado di alimentare in modo ineccepibile p.e. i motori a induzione con un fattore di potenza minore dello 0,8. Anche sotto questo profilo vale la pena di sborsare qualcosa in più per un apparecchio idoneo.

Lucido 59

Sistema a bassa tensione



12 V e 24 V sono le tensioni usuali dei piccoli impianti autonomi.

Perdite dovute a cadute di tensione si hanno su:

- conduttori
- morsetti
- valvole
- interruttori
- diodi

Il conduttore principale della batteria conduce l'intero carico di corrente. Perciò: utilizzare morsetti con debole resistenza di trasmissione e cavi dimensionati con agio.

Già le cadute di tensione di piccola entità riducono fortemente il rendimento.

59

11.14 Sistema a bassa tensione

Per gli impianti autonomi si scelgono di regola delle tensioni di sistema minori di 50 volt. La tensione più frequente è oggi 24 volt; negli impianti piccolissimi può scendere a 12 volt. In un sistema a 12 volt, una caduta di tensione di 0,6 V (p.e. su un diodo) può tuttavia già costituire una perdita del 5%. Bisogna dunque fare molta attenzione che le perdite di tensione su conduttori, morsetti, valvole, interruttori e diodi rimangano il più contenute possibile. E un'attenzione tutta particolare va riservata alla condotta principale che conduce il carico dall'accumulatore alla distribuzione. Essa conduce infatti la somma di tutte le correnti degli utilizzatori, e deve pertanto essere dimensionata con agio. Inoltre, deve essere dotata di una valvola direttamente sul polo della batteria (valvola per polo della batteria>>).

L'energia deve essere impiegata per alimentare apparecchi di rendimento molto elevato: ciò permette di conseguire notevoli risparmi sull'investimento richiesto per l'approvvigionamento energetico. Per moltissime applicazioni sono oggi reperibili ottimi apparecchi elettrici a 12 risp. 24 V, che presentano rendimenti migliori dei corrispettivi apparecchi a 220 V (illuminazione, raffreddamento, televisori, pompe di convogliamento dell'acqua, pompe di circolazione, mungitrici).



12 Appendice I: filo conduttore per le esercitazioni pratiche

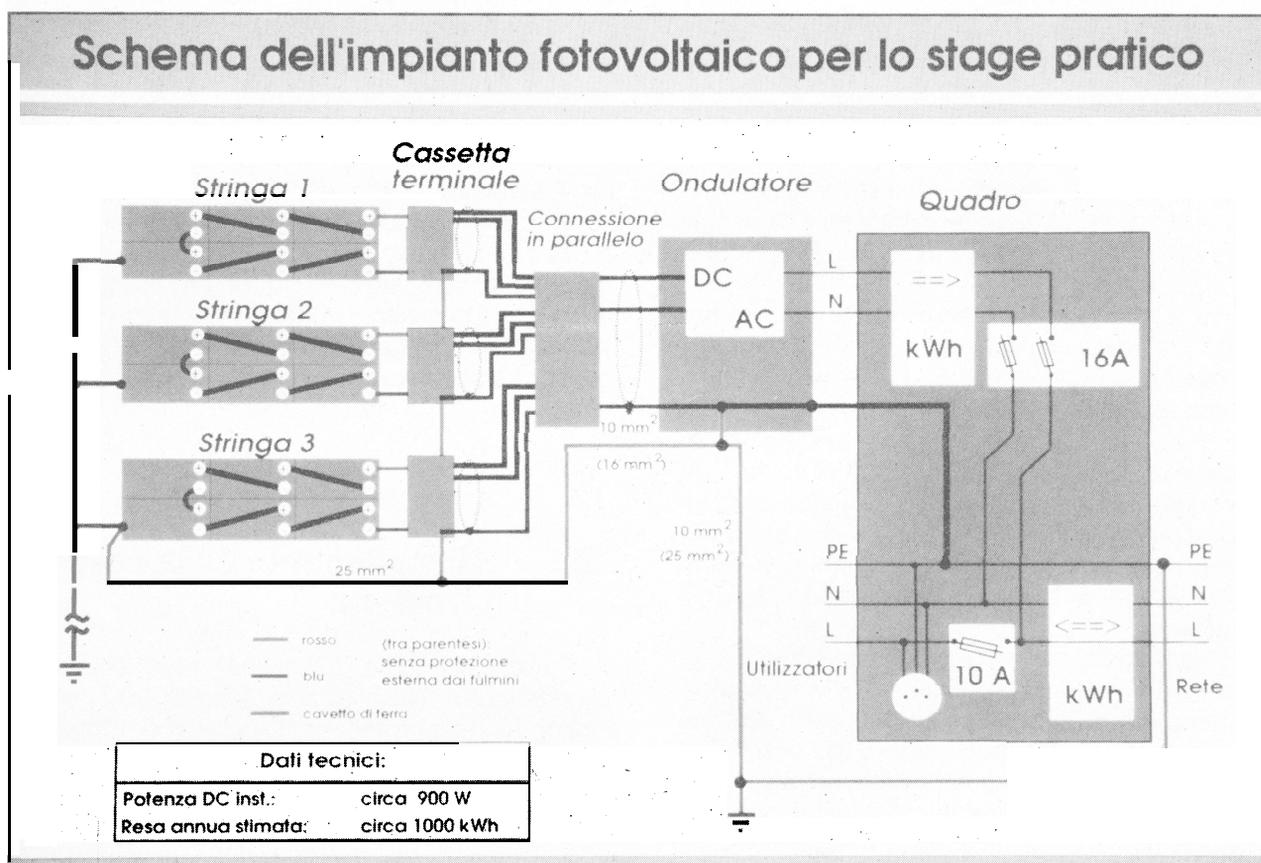
12.1	Introduzione	84
12.2	Schema dell' impianto fotovoltaico per le esercitazioni pratiche	85
12.3	Misurazioni sul modulo fotovoltaico	8 6
12.4	Struttura del campo fotovoltaico	86
12.5	Allacciamento della cassetta terminale	87
12.6	Allacciamento dell'ondulatore	87
12.7	Allacciamento del quadro elettrico	87
12.8	Messa in esercizio	88
12.9	Indicatore di controllo	88
12.10	Prove	88
12.11	Protocolli di misura	89
12.11.1	Misure sul modulo	89
12.11.2	Misure sulla cassetta terminale	89
12.11.3	Misure sul modulo, esempio	
12.11.4	Misure sulla cassetta terminale, esempio	90

12 Appendice I: filo conduttore per la pratica

12.1 Introduzione

La sezione pratica è parte integrate del corso sugli impianti fotovoltaici destinato agli installatori elettricisti. In questo ambito avremo modo di elucidare sull'esempio concreto le caratteristiche e i nessi di interdipendenza trattati sul piano teorico. Allo scopo faremo anzitutto delle misure semplici sui moduli; poi costruiremo un piccolo campo fotovoltaico e lo allacceremo alla rete.

Lucido 60



60

12.2 Schema dell'impianto fotovoltaico per le esercitazioni pratiche

Durante le esercitazioni pratiche, con i moduli costruiamo tre stringhe aventi una tensione d'esercizio di 100 V ciascuna. Per poter eseguire la connessione in stringhe, il cablaggio e l'allacciamento alla cassetta terminale in gruppi possibilmente piccoli, a differenza del lavoro su impianti reali, condurremo qui ogni stringa in una cassetta separata. Le tre stringhe saranno poi connesse in parallelo solo in un'ulteriore cassetta e risulteranno così riunite per formare un piccolo campo fotovoltaico. Le corsiste e i corsisti si vedranno dunque confrontati con del materiale solare «vero». E affinché possano conoscere un vasto ventaglio di materiali, troveranno a loro disposizione celle fotovoltaiche di vario tipo. Ci preme comunque

di ricordare che con quanto viene presentato durante il corso abbiamo potuto considerare solo una parte dei prodotti e delle ditte produttrici. Una documentazione neutrale sulle ditte che producono moduli fotovoltaici, componenti di sistema e ondulatori è ottenibile presso il centro d'informazione Infosolar, casella postale 311,5200 Brugg.

Rammentiamo inoltre che, con l'ondulatore dato, è necessario che la tensione di fase sia di circa 100 V a corrente continua. Se la temperatura delle celle è bassa e il soleggiamento totale, si possono così generare tensioni a circuito aperto di circa 150 V. Questa tensione continua è pericolosa. Ciò spiega perché anche durante le esercitazioni pratiche nell'ambito di questo corso il cablaggio deve essere effettuato con la massima cura.

12.3 Misurazioni sul modulo fotovoltaico

Trattiamo ora ancora una volta la struttura del modulo fotovoltaico. A dipendenza del fabbricato, lo strato di copertura sul lato posteriore è sia di materiale sintetico sia di vetro. In ogni caso, tra il lato anteriore e quello posteriore, le singole celle sono ancora inserite in un laminato sintetico. Il lucido 15 illustra il cablaggio seriale delle celle e il collegamento con la scatola di giunzione.

Al punto 12.11, posto al termine di questo capitolo, troviamo il protocollo di misura. I primi dati da riportarvi sono quelli riguardanti il modulo. I valori vanno ripresi dalla scheda fornita dalla ditta produttrice. La misurazione della tensione momentanea a circuito aperto U_{om} , della corrente momentanea di cortocircuito I_{cm} e dell'irraggiamento momentaneo $1m$ ci consente di verificare il rendimento del modulo. Con le misurazioni eseguite sulla cassetta terminale vogliamo inoltre stimare sulla base di un calcolo quale è l'irraggiamento del momento.

In corrispondenza con le spiegazioni fornite in merito ai lucidi 7 e 8, misuriamo l'influenza dell'angolo di inclinazione e di orientamento. Se durante la giornata dedicata alle esercitazioni pratiche il cielo risultasse coperto, non dovremmo poter constatare alcuna dipendenza dall'inclinazione e dall'orientamento. Se nel momento delle misure vi fosse irraggiamento diretto (riconoscibile dal fatto che getta ombre distinte), allora potremo notare la dipendenza dall'angolo di inclinazione e di orientamento nella variazione della corrente di cortocircuito.

Sul lucido 24 avevamo analizzato l'influsso dell'ombreggiamento sulla resa energetica. Nell'ambito dell'esercitazione pratica possiamo facilmente provare questo influsso grazie a una semplice misura della corrente di cortocircuito. Allo scopo misuriamo la corrente di cortocircuito di un modulo non ombreggiato; in seguito, continuando a misurare, ombreggiamo dapprima solo in parte e poi interamente una cella fotovoltaica di uno dei moduli.

12.4 Struttura del campo fotovoltaico

Realizziamo il campo fotovoltaico come se si trattasse di costruirne uno sopra un tetto piano. Allo scopo sono previsti dei supporti, che dobbiamo montare e orientare verso sud. In seguito, dove fosse necessario, inseriamo i diodi nelle scatole di giunzione dei moduli. Poi confezioniamo i cavi solari (di preferenza cavi a doppio mantello). Eseguendo il cablaggio dobbiamo badare che i cavi entrino dal basso nelle scatole di giunzione. Poi posiamo i cavi in un'apposita guaina, appoggiata in maniera sciolta sul pavimento. I singoli supporti devono essere collegati a

t e r r a

12.5 Allacciamento della cassetta terminale

Anzitutto controlliamo la cassetta terminale gettando uno sguardo verificatore al cablaggio che si trova all'interno; la misura della resistenza del varistore deve dare un valore alto.

Il lucido 26 illustra l'esempio di una cassetta dello stesso tipo di quelle che utilizziamo durante le esercitazioni pratiche. Se l'ispezione non ci ha permesso di localizzare niente di sbagliato, possiamo dare avvio al cablaggio. Come mostra il lucido 22, le stringhe vanno riunite parallelamente. Il polo positivo della stringa viene condotto sul polo positivo nella cassetta e quello negativo della stringa sul corrispondente polo negativo nella cassetta. Dobbiamo badare che i cavi solari risultino bloccati nei morsetti di contatto. Subito dopo l'allacciamento del corrispondente conduttore positivo o negativo di una stringa misuriamo la tensione di fase. Dato che a questo punto le valvole non sono ancora inserite, possiamo verificare la tensione di fase.

Successivamente confezioniamo il cavo schermato. Togliere, l'isolamento e preparare il mantello di collegamento a terra conformemente a quanto illustra il lucido 26 alla cifra 6 ci richiede un po' di pazienza. Allacciando questo cavo importante, che collega la cassetta terminale con l'ondulatore, è indispensabile che eseguiamo un lavoro impeccabile; in particolare, dobbiamo fissare con particolare cura il cavetto di collegamento a terra nel corrispondente morsetto.

12.6 Allacciamento dell'ondulatore

Ancora prima di inserire le valvole e, soprattutto, mantenendo disinserito l'interruttore di potenza DC nella cassetta terminale, tra quest'ultima e l'ondulatore posiamo e colleghiamo il cavo schermato: il conduttore positivo del cavo va sul morsetto positivo dell'ondulatore e il conduttore negativo sul morsetto negativo. Poi dobbiamo eseguire la corretta messa a terra dell'ondulatore fotovoltaico.

12.7 Allacciamento del quadro elettrico

Il quadro elettrico dell'edificio deve essere dotato di un'uscita munita di valvole. A dipendenza delle prescrizioni dell'azienda elettrica risp. dei desideri della clientela, dovremo posare un contatore per l'energia prodotta. Indi colleghiamo il quadro con l'uscita dell'ondulatore.

12.8 Messa in esercizio

Procediamo a un nuovo controllo del cablaggio e alla misura delle tensioni e delle correnti delle stringhe. Se il controllo soddisfa le aspettative, inseriamo per ogni stringa le corrispettive valvole nella cassetta terminale. Poi inseriamo l'interruttore di potenza DC nella cassetta terminale e controlliamo di nuovo la tensione continua sui morsetti dell'ondulatore. Mettiamo sotto tensione l'uscita dell'ondulatore sul lato a corrente alternata inserendo l'interruttore. Verifichiamo la tensione all'uscita dell'ondulatore fotovoltaico. Se le grandezze misurate corrispondono alle aspettative, possiamo inserire anche l'ondulatore. Con ciò, l'impianto fotovoltaico incomincia a immettere energia nella rete. Attenzione: vi ricordiamo di nuovo che l'immissione nella rete non è percepibile ai nostri sensi: né attraverso il rumore né attraverso la presenza di parti rotanti. L'unica indicazione diretta del fatto che avviene un'immissione nella rete ci deriva dal contatore elettromeccanico e dalle spie luminose dell'ondulatore.

12.9 Indicatore di controllo

Al fine di riconoscere gli stati d'esercizio, gli impianti fotovoltaici sono muniti di strumenti di indicazione oppure offrono la possibilità di analizzare lo stato d'esercizio dell'ondulatore con l'aiuto di terminali supplementari. Nel caso dell'ondulatore impiegato nell'ambito delle esercitazioni pratiche di questo corso, lo stato d'esercizio viene analizzato mediante un semplice computer portatile. Esso consente non solo di controllare lo stato d'esercizio, ma anche di leggere la temperatura dei radiatori dei componenti di potenza, la frequenza di rete, la tensione DC, la tensione AC, la corrente AC e la potenza fornita.

12.10 Prove

L'impianto ora installato ci permette di fare delle prove per quanto riguarda l'ombreggiamento e le sue conseguenze sulla produzione di energia. Ma non dimentichiamo che il campo fotovoltaico costruito nell'ambito di questo corso è davvero piccolo e può fornire le potenze richieste solo se l'irraggiamento è sufficientemente forte.

12.11 Protocolli di misura

12.11.1 Misure sul modulo

Dati riguardanti il modulo:

Tipo di modulo		
Tensioni nel MPP (punto di massima potenza)		V
Corrente nel MPP		A
Potenza di picco P		W
Tensione a circuito aperto U_o		V
Corrente di cortocircuito I_c		A
Fattore di riempimento FF	0,75	
Superficie attiva		m ²
Area del modulo A		m ²
Rendimento = $\frac{\text{potenza di picco}}{1000 \text{ W/m}^2 \cdot \text{area A}} \cdot 100$		%

Misure / calcoli:

Tensione momentanea a circuito aperto U_{0M}		V
Corrente momentanea di cortocircuito I_{CM}		A
Potenza momentanea $P_M = FF \cdot U_{0M} \cdot I_{CM} =$		W
Irraggiamento momentaneo $I_{M,}$ (misura con solarimetro)		W/m ²

Verifica del rendimento (q):

$$\eta = \frac{\text{potenza momentanea } P_M}{\text{irraggiamento momentaneo } I_{M,} \cdot \text{area A}} \cdot 100 = \quad \%$$

12.11.2 Misure sulla cassetta terminale

Tensione momentanea a circuito aperto (stringa) U_{0M}		V
Corrente momentanea di cortocircuito (stringa) I_{CM}		A
Potenza momentanea $P_M = FF \cdot U_{0M} \cdot I_{CM} =$		W
Irraggiamento momentaneo $I_{M,}$ misurato		W/m ²
Irraggiamento percentuale = $\frac{\text{potenza momentanea } P_M}{\text{potenza di picco P}} =$		%
Irraggiamento momentaneo $I_{M,}$ calcolato = irragg. percent. * 1000 W/m ² =		W/m ²

12.11.3 Misure SUI modulo, esempio

Dati riguardanti il modulo:

Tipo di modulo	BP 255	
Tensioni nel MPP (punto di massima potenza)	17,0	V
Corrente nel MPP	3,23	A
Potenza di picco P	55	W
Tensione a circuito aperto U _o	21,2	V
Corrente di cortocircuito I _c	3,54	A
Fattore di riempimento FF	0,75	
Superficie attiva	0,39	m ²
Area del modulo A	0,44	m ²

$$\text{Rendimento} = \frac{\text{potenza di picco}}{1000 \text{ W/m}^2 \cdot \text{area A}} \cdot 100 = \frac{55}{100 \cdot 0,44} \cdot 100 = 12,5 \%$$

Misure / calcoli:

Tensione momentanea a circuito aperto U _{oM}	20,1	v
Corrente momentanea di cortocircuito I _{oCM}	2,4	A
Potenza momentanea P _M = FF * U _{oM} * I _{oCM} = 0.75 * 20.1 * 2.4 =	36,2	w
Irraggiamento momentaneo I _M , (misura con solarimetro)	630	W/m ²

Verifica del rendimento (q):

$$\eta = \frac{\text{potenza momentanea P}_M}{\text{irraggiamento momentaneo I}_M \cdot \text{area A}} \cdot 100 = \frac{36.2}{630 \cdot 0.44} = 13.0 \%$$

12.11.4 Misure sulla cassetta terminale, esempio

Tensione momentanea a circuito aperto (stringa) U _{oM}	117,1	V
Corrente momentanea di cortocircuito (stringa) I _{oCM}	2,8	A
Potenza momentanea P _M = FF * U _{oM} * I _{oCM} = 0.75 * 117.1 * 2.8 =	245.9	W
Irraggiamento momentaneo I _M , misurato		W/m ²
Irraggiamento percentuale = $\frac{\text{potenza momentanea P}_M}{\text{potenza di picco P}}$ = $\frac{245}{330}$ =	ca. 75	%
Irraggiamento momentaneo I _M , calcolato = irragg. percent. * 1000 W/m ² =	ca. 750	W/m ²

13 Appendice II:

13.1	Terminologia generale	92
13.2	Terminologia accumulatori	93

13 Appendice II: terminologia

13.1 Terminologia generale

Celle fotovoltaiche (o solari)

Lamine cristalline rotonde o quadrangolari, solitamente di silicio. Non appena sono esposte alla luce, vi si liberano degli elettroni. Se i contatti sul lato superiore e inferiore della cella sono connessi tra loro attraverso un carico, si verifica un passaggio di corrente. I contatti sul lato superiore e inferiore prelevano questa corrente. I processi che si instaurano così sono detti fotovoltaici, dato che si tratta di una produzione di tensione (voltaica) mediante particelle luminose (fotoni).

Moduli fotovoltaici (o solari)

Unità incapsulate, contenenti una o più celle fotovoltaiche interconnesse e protette dagli agenti atmosferici mediante una lastra frontale trasparente. I moduli sono dimensionati per durare circa 30 anni; la garanzia per le prestazioni elettriche specificate è solitamente di 10 anni.

Rendimento

È il rapporto tra l'energia elettrica generata e l'energia solare incidente sui moduli fotovoltaici. Il rendimento viene di regola espresso come percentuale; esso diminuisce con l'aumento della temperatura. Con celle al silicio cristallino si è ottenuto in laboratorio un rendimento di conversione del 24%. Le celle amorfe, con un rendimento del 10% al massimo, raggiungono valori decisamente minori. Contrariamente a quanto accade con le celle cristalline, il rendimento delle odierne celle amorfe diminuisce con l'andar del tempo. Il rendimento massimo, di oltre il 30%, viene raggiunto dalle costose cellule a giunzioni multiple (dette anche celle tandem).

Il simbolo greco utilizzato per il rendimento è η .

Durata media o tempo di vita

Anni durante i quali un impianto fotovoltaico genera la potenza specificata. Le componenti critiche di un impianto sono le batterie e, a dipendenza della tecnica, le celle fotovoltaiche. Una batteria solare dura da 5 a 10 anni, secondo il tipo di esercizio e di manutenzione cui è sottoposta. Le celle cristalline sono talvolta accompagnate da garanzie fino a 10 anni. Una delle difficoltà principali delle celle amorfe è ancor oggi ravvisabile nel loro breve tempo di vita.

Impianti fotovoltaici

La loro potenza spazia oggi tra pochi watt e alcuni megawatt. Tutti hanno in comune una grande affidabilità come pure un esercizio e una manutenzione poco onerosi.

Componenti del sistema

Elementi necessari per comporre un impianto fotovoltaico, segnatamente: moduli fotovoltaici, regolatori di carica, batterie, regolatori di scarica, ondulatori, cassette terminali, dispositivi di protezione dai fulmini, supporti ecc.

Collettori ibridi

Sistemi atti a produrre sia calore sia energia elettrica.

Accumulatori

La corrente fotovoltaica è stoccata in batterie, da dove viene prelevata in caso di bisogno. Altri sistemi, quali p.e. i volani, sono molto costosi.

Corrente continua

Le celle fotovoltaiche generano corrente continua, per cui è opportuno che anche la batteria d'accumulo lavori a corrente continua (poli positivo e negativo). Per gli impianti ubicati in zone remote si consigliano utilizzatori a corrente continua. Volendo non dimeno allacciare apparecchi a corrente alternata si rende necessario un ondatore, che provvederà a trasformare la corrente continua in corrente alternata.

Corrente di rete

La corrente elettrica nella rete svizzera cambia di polarità 100 volte il secondo. Volendo immettere nella rete pubblica la corrente fotovoltaica che non viene subito consumata è necessario convertire mediante un ondatore la corrente continua delle celle fotovoltaiche in corrente alternata. I problemi inerenti alla sicurezza sono tecnicamente risolvibili; ciò che per contro impedisce una larga diffusione di simili impianti con allacciamento alla rete è l'elevato costo di produzione della corrente.

Potenza

Lavoro compiuto per unità di tempo. Il motore di un'automobile dispone p.e. di una determinata po-

tenza, indipendentemente dal fatto che sia posteggiato o in moto. Se per un impianto fotovoltaico sono date la tensione (U) in volt e la corrente (I) in ampere, ne risulta una potenza in watt (W), corrispondente al prodotto della corrente moltiplicata per la tensione. 1000 watt sono 1 chilowatt (kW).

Energia

È la capacità di fornire lavoro meccanico. Se un'automobile e in moto per un determinato periodo di tempo consuma energia (benzina). Se un impianto elettrico con la potenza (P) è in funzione per un determinato tempo (t), genera o consuma un'energia pari a P per t. L'unità di misura si chiama wattsecondo (Ws) o joule (J). Per l'uso nella pratica, il tempo è solitamente indicato in ore e non in secondi, cosicché i dati sull'energia sono forniti in wattora (Wh). 1000 Wh danno un chilowattora. (kWh). Questa è la grandezza di cui si servono le aziende elettriche per fatturare l'energia all'utenza. Un chilowattora di energia corrisponde p.e. alla potenza consumata da una stufa di 1 kW nel giro di un'ora.

13.2 Terminologia accumulatori

Tipo di accumulatori: Caratteristiche:

- | | |
|-----------------|--|
| • piombo | altamente sviluppato,
relativamente poco
Costoso |
| • nichel-cadmio | robusto non richiede
manutenzione, resistente
alla scarica |
| • argento-zinco | Costoso |
| • sodio-zolfo | alta temperatura, ancora
in fase di messa a punto |

Capacità

Si indica in amperora (Ah). Dipende dalla temperatura, ma anche dalle correnti di carica e di scarica. Esempio: $C_{10} = 80$ Ah significa che con un periodo di scarica di 10 ore si ha a disposizione una corrente di 8 A, senza oltrepassare la tensione finale di scarica. Invece di C_{10} si trova anche la designazione K_{10} .

Tensione finale di scarica

È la tensione fino alla quale è consentito scaricare la batteria. Scaricando la batteria con la corrente di scarica per 20 ore consecutive, essa ammonta a 1,75 V per pila.

Massa attiva

Indica la componente delle lastre della batteria che durante il passaggio della corrente, ossia durante la carica e la scarica, va soggetta a trasformazioni chimiche.

Energia accumulata

$W_N = C_N \cdot U_N$, dove U_N = tensione nominale.

Rendimento Ah

$\eta_{Ah} = \text{carica addotta} / \text{carica prelevata}$
Valore tipico: 90%

Rendimento energetico

$\eta_{Wh} = \text{energia addotta} / \text{energia prelevata}$
Valore tipico: 80%

Grado di carica

= Q / C_N , dove Q = carica contenuta

Profondità dei cicli

= Q_E / C_N , dove Q_E = carica prelevata dalla batteria

Tempo di vita dei cicli

Numero dei cicli di carica/scarica finchè la capacità scende all'80% del suo valore iniziale. Dipende fortemente dalla profondità dei cicli.

Tasso di autoscarica

Autoscarica della batteria in Ah/mese oppure %/mese.

Accumulatore al piombo

Relativamente poco oneroso (circa il 10 a 20 % dei costi globali di un impianto autonomo) e per questo molto diffuso per l'uso negli impianti fotovoltaici. ‘

- Batterie industriali stazionarie
Fino a 1000 cicli con una profondità di scarica del 50%. Intervalli di manutenzione di circa 2 anni. Tempo di vita massimo circa 10 anni. Costo circa fr. 550.—/kWh.
- Batterie d'automobile modificate
Fino a 500 cicli con una profondità di scarica del 50%. Intervalli di manutenzione di circa 1 anno, Tempo di vita massimo circa 6 anni. Costo circa fr. 300.—/kWh.
- Batterie a gelatina (<< Dryfit >>)
Celle chiuse con elettrolito gelatinoso. Fino a 300 cicli con una profondità di scarica del 50 %. Esenti da manutenzione. Tempo di vita massimo circa 4 anni. Contrariamente ai modelli summenzionati, possono anche subire scariche profonde. Costo circa fr. 400.—/kWh.

14 Appendice III: esempio di calcolo

14.1	Spazio richiesto	96
14.2	Resa energetica annua	96
14.3	Costi e prezzo dell'energia (stato: primavera 1991)	97

14 Appendice III: esempio di calcolo

14.1 Spazio richiesto

Si cerchi: superficie richiesta A
 Siano dati: rendimento delle celle" $\eta = 11,5\%$
 potenza di picco da installare $P = 3 \text{ kW}$
 irraggiamento massimo $I = 1 \text{ kWh/m}^2$

$$\text{Superficie richiesta } A = \frac{P}{I * \eta} = \frac{3 \text{ kW}}{1 \text{ kWh/m}^2 * 0,115} = 26 \text{ m}^2$$

14.2 Resa energetica annua

Si cerchi: resa energetica annua stimata E_{AC}
 Siano dati: rendimento dell'impianto $\eta = 9,5\%$
 superficie delle celle fotovoltaiche $A = 26 \text{ m}^2$
 inclinazione del tetto 25°
 orientamento 30° est
 irraggiamento globale di Aarau G (forti nebbie invernali)

METEONORM V1.00 (C) 1988 OFEN/BWE P. BREMER / J.-C. STRITT. STRAHLUNG AUF GENEIGTE FLÄCHEN [kWh/m2] AARAU / HÖHE : 385 m / STRAHLUNGSREGION : 15													
Fläche No: 1				Neigung: 25.0°					Orientierung: -30,0°				
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	TOTAL
G:	30.1	51.2	88.7	127.1	151.2	160.9	174.3	144.4	112.0	69.1	33.1	23.0	1165

G: irraggiamento globale

Resa energetica annua:

$$E_{AC} = G * A * \eta = 1165 \text{ kWh/m}^2 * 26 \text{ m}^2 * 0,095 = 2878 \text{ kWh}$$

14.3 Costi e prezzo dell'energia (state: primavera 1991)

Osservazione:

Le cifre seguenti hanno per scopo di rendere degli ordini di grandezza. I costi di montaggio e di installazione possono subire grandi variazioni secondo il tipo di tetto, quelli dei moduli e dell'ondulatore secondo la ditta produttrice.

Moduli fotovoltaici	60 volte 53-W a	490.—	29'400.—	62,8%
Ondulatore			7'500.—	15,9%
Installazione completa			10'000.—	21,3%
Totale			46'900.—	100%

Osservazione:

- L'entità del prezzo dell'energia calcolato dipende dal modello seguito per il calcolo. Qualunque sia il modello prescelto, importante è che gli interessi del capitale vengano considerati nel conteggio. Nell'esempio seguente, per stabilire gli interessi sul capitale si è preso quale riferimento un aumento dell'ipoteca esistente (al tasso per vecchie ipoteche di 5,5%).

Ammortamento in 30 anni, interessi SUI capitale 5,5%0 (stato: primavera 1991)

Costi per un anno (annualità: 6,9%)	3'236.—
Manutenzione per un anno (rincaro 3,50/0)	344.—
Costi annui	3'580.—

Quando si applica il metodo delle annualità, i costi annui assoluti per un tempo di vita di 30 anni sono sempre gli stessi, ossia fr. 3'580.—. Più il tempo di vita aumenta, più questi costi annui in realtà diminuiscono, dato che il rincaro svaluta il denaro e che, tra l'altro, i prezzi della corrente elettrica aumentano.

Prezzo della corrente elettrica:

Costi annui	3'580.—
Resa energetica annua	2'878 kWh
Prezzo della corrente	3'580.—/2878 kWh Fr. 1.24



15 Appendice IV: domanda di allacciamento ASE

Domanda di allacciamento

100

15 Appendice IV: domanda di allacciamento ASE

Domanda di allacciamento

per impianti di produzione d'energia nell'esercizio parallelo con la rete e per il prelevamento di energia risp. l'immissione nella rete dell'azienda elettrica.

1. Nome, indirizzo e n. tel. _____
 del/la richiedente: _____

2. Nome, indirizzo e n. tel. _____
 del/la proprietario/a dell' impianto: _____

Luogo della produzione di energia: _____

Indirizzo: _____

Piano catastale n.: _____

Parcella n.: _____

Assicurazione immobiliare n.: _____

3! Data prevista per la messa in funzione: _____

4. Dati tecnici

4.1 Sistema di azionamento: _____

4.2 Ditta costruttrice/fornitrice: _____

4.3 Produzione di energia elettrica
 (crociare quanto fa al case)

Macchinasincronica: **•1**

Macchina asincronica:

Compensazione della potenza reattiva
 (tipo, potenza): _____

4,4 Dati nominali del generatore in caso di esercizio ininterrotto (a pieno carico)

Potenza attiva _____ kW

Potenza apparente _____ kVA

Potenza di cortocircuito: _____ kVA

Fattore di potenza cos: _____

Tensione: _____ V

Frequenza: _____ Hz

Commutazione (A < A): _____

4.5 Dispositivi di sicurezza previsti:

a) per il generatore (sovraccarico, cortocircuito e dispersione a terra, carico asimmetrico, potenza immessa ecc.):

b) per l'esercizio parallelo con la rete (sorveglianza della tensione minima e massima come pure della frequenza, blocco di inserimento e reinserimento contro la rete senza tensione, sincronizzazione e collegamento ecc.):

c) contro le ripercussioni della rete:

4.6 Se generatore asincrono: collegamento previsto (diretto, stella-triangolo ecc.):

4.7 Trattamento del centro stella:

5. Tipo di esercizio (crociare quanto fa al case)

5.1 Esercizio autonomo con immissione d'emergenza nella rete:

Fabbisogno di potenza: _____ kW

5.2 Generatore d'emergenza con esercizio parallelo limitato:

Potenza immessa nella rete: _____ kW

5.3 Esercizio parallelo con la rete:



5.3.1 Energia presumibilmente immessa

a) nel semestre estivo: _____ kWh

b) nel semestre invernale: _____ kWh

Fabbisogno di potenza in caso di guasto all'impianto: _____ kW

5.3.2 Energia presumibilmente prelevata

a) nel semestre estivo: _____ kWh

b) nel semestre invernale: _____ kWh

In merito ai punti 5.2 e 5.3

orari d'esercizio previsti: _____

eventuale programma di commutazione: _____

6. Controllo periodico dell' impianto effettuato da:

Importante !

Pergli impianti di produzione d'energia destinati all'esercizio parallelo con la rete vige l'obbligo di sottoporre i progetti (v. Legge federale concernente gli impianti elettrici a corrente debole e a corrente forte, art. 13 e 15). Prima di costruire l'impianto, occorre inoltrare all'Ispettorato federale degli impianti a corrente forte un avviso ai sensi dell'art. 21 dell'Ordinanza concernente i progetti per gli impianti a corrente forte.

Senza l'approvazione dei progetti da parte dell' Ispettorato federale degli impianti a corrente forte, senza l'autorizzazione di allacciamento e il collaudo delle componenti elettriche dell'impianto da parte dell'azienda elettrica, e senza la reciproca approvazione di eventuali accordi d'esercizio tra ii/la proprietario/a dell'impianto e l'azienda elettrica, l'impianto non può entrare nell'esercizio parallelo con la rete dell'azienda.

Luogo e data:

Firma del/la richiedente:

Allegati:

Descrizione tecnica dell'impianto

Schema particolareggiato della parte elettrica dell'impianto

Piani approvati dall'Ispettorato federale degli impianti a corrente forte

16 Appendice V: nuove prescrizioni ASE/IFCF

Impianti fotovoltaici di produzione dell'energia, IFCF	104
Obbligo di sottoporre i progetti e di controllo	104
Concessione d'installazione	105
Installazione dell'impianto	105
Protezione dai fulmini, collegamento a terra	107
Impianti con esercizio parallelo alla rete	107
Messa in esercizio	108
Misura dell'energia	108
Laggi, ordinanze e prescrizioni	108

16 Appendice V: nuove prescrizioni ASE/IFCF

Relazione di H. Bersinger
Capo del controllo delle installazioni dell'azienda elettrica argoviese tenuta al convegno informativo per installatori elettricisti e progettisti il 16 gennaio 1991 nell'aula magna della STS di Windisch

Titolo: Nuove prescrizioni ASE/IFCF per gli impianti fotovoltaici di produzione dell'energia

(N.d.r.: la numerazione seguente e riferita alle corrispondenti posizioni della Prescrizione ASE 233.0690 d o f).

Impianti fotovoltaici di produzione dell'energia, IFCF

Con il diffondersi degli impianti fotovoltaici di produzione dell'energia (conosciuti anche come impianti a energia solare), l' Ispettorato federale degli impianti a corrente forte (IFCF) ha emanato speciali prescrizioni di sicurezza, che possono essere ordinate presso l'ASE, nell'edizione del giugno 1990, menzionando il numero 233.0690 d (tedesco) risp. f (francese). In seguito tratteremo in particolare i punti che sono importanti per chi esegue l'installazione. Per l'impianto nel suo insieme sono comunque determinanti dette prescrizioni.

Obbligo di sottoporre i progetti e di controllo

Già prima che venissero emanate le Prescrizioni di sicurezza si era stabilito che, contrariamente ai doveri risultanti dall'obbligo fatto dalla legge di sottoporre i progetti, i piccoli impianti previsti per l'esercizio parallelo non avrebbero richiesto l'approvazione dei piani da parte dell'IFCF. Questo principio è stato ripreso nelle Prescrizioni: al punto 4 vi si legge quanto segue.

4.1 Impianti senza allacciamento a una rete distributive a bassa tensione

4.1.1 Per singoli impianti di qualsiasi dimensione situati su un proprio terreno; che non superino le tensioni massime ammesse per gli impianti domestici, e che non siano fon-

te di perturbamenti o di pericolo a causa della vicinanza di altri impianti elettrici, non vige l'obbligo di sottoporre i progetti (LF concernente gli impianti elettrici a corrente forte e a corrente debole, LIE, art. 13).

4.1.2 Per gli impianti situati su un terreno di proprietà altrui vige sempre l'obbligo di sottoporre i progetti (LIE, art. 15).

4.1.3 I proprietari degli impianti sottostanno sempre all'obbligo di controllo. Sono tenuti a notificare i loro impianti all'Ispettorato federale degli impianti a corrente forte e devono poter provare nei confronti di quest'ultimo lo svolgimento dei controlli tecnici di sicurezza.

4.2 Impianti con allacciamento a una rete distributive a bassa tensione

4.2.1 Gli impianti con potenze fino a 3,3 kVA monofase 010 kVA trifase situati su un proprio terreno sono parificati agli impianti domestici. Per essi non vige l'obbligo di sottoporre i progetti (LIE, art. 13).

4.2.2 Gli impianti con potenze oltre i 3,3 kVA monofase 010 kVA trifase situati su un proprio terreno come pure diversi impianti in esercizio parallelo di minore potenza ma la cui potenza totale superi i valori indicati non sono parificati agli impianti domestici. Essi possono costituire una fonte di notevoli perturbazioni o pericolo per gli impianti elettrici, perciò sottostanno all'obbligo di sottoporre i progetti (LIE, art. 15). Tutta la documentazione deve essere inoltrata per l'approvazione all' Ispettorato federale degli impianti a corrente forte. È possibile avviare la costruzione dell' impianto solo qualora si disponga di un'approvazione valida di detto Ispettorato.

4.2.3 Per gli impianti situati su terreni di proprietà altrui vige sempre l'obbligo di sottoporre i progetti (LIE, art. 15).

4.2.4 La tassa è per principio dovuta sull'insieme dei costi dell'impianto. Se la parte dell'impianto a corrente continua lavora con una tensione a circuito aperto minore di 120 V = per il campo fotovoltaico non viene prelevata alcuna tassa.

4.2.5 Tutti gli impianti devono essere notificati all'ente proprietario della rete. A questi è fatto obbligo di controllo.

- 4.3 Impianti ad alta tensione con o senza allacciamento a una rete ad alta tensione. Simili impianti sottostanno sempre all'obbligo di avviso. Il controllo compete all'IFCF.

Abilitazione all'installazione

L'abilitazione all'installazione di impianti come pure le condizioni che debbono soddisfare le componenti riguardo alla conformità rispetto alle norme sono elencate al punto 3 come segue:

- 3.1 **Abilitazione all'installazione**
Gli impianti fotovoltaici per tensioni fino a 1000 V risp. 1500 V= con o senza allacciamento a una rete distributiva a bassa tensione sottostanno all'Ordinanza concernente gli impianti a bassa tensione (OIBT). Possono essere installati solo da persone che soddisfino i requisiti elencati in quest'ordinanza.
- 3.2 **Componenti d'impianto**
Le componenti di impianti fotovoltaici per la produzione di energia fino a 1000 V risp. 1500 V= sottostanno all'Ordinanza sui prodotti elettrici a bassa tensione. Per esse vige l'obbligo di dimostrare la conformità in termini di sicurezza e assenza di fattori perturbanti.
- 3.3 **Impianti ad alta tensione**
Per gli impianti con tensioni superiori a 1000 V risp. 1500 V= fa stato l'Ordinanza sugli impianti a corrente forte, (OICF).

Installazione dell'impianto

In merito all'installazione dell'impianto, per gli installatori elettricisti è importante conoscere le prescrizioni concernenti il collegamento a terra, la protezione dai fulmini, il cablaggio e i tipi di cavi, la protezione dei cavi, e le cassette di collegamento. Ecco dunque riassume qui per esteso.

- 2.1.5 Collegamento a terra di impianti senza edificio
Il collegamento a terra deve essere esegui-

to ai sensi dell'Ordinanza sulla corrente forte e della Norma ASE 3569.

Per l'insieme del campo fotovoltaico deve essere prevista una compensazione del potenziale e il collegamento a terra deve essere eseguito in modo tale che le tensioni di contatto e di passo per tempi oltre i 5 s non superino il valore di 120 V=.

Nel caso di impianti più grandi dotati di un allacciamento ad alta tensione sul lato a corrente alternata è necessario chiarire le condizioni di collegamento a terra con l'ente proprietario della rete. Per evitare un'influenza reciproca potrebbe rivelarsi opportuna una separazione locale del collegamento a terra del lato a corrente continua da quello del lato a corrente alternata.

- 2.1.6 Collegamento a terra e protezione dai fulmini di impianti su edifici

Per il collegamento a terra valgono le Prescrizioni sugli impianti elettrici interni ASE 1000. Un impianto fotovoltaico di produzione d'energia a corrente forte esige in ogni caso una messa a terra.

Per la protezione degli edifici dai fulmini fa stato la Norma ASE 4022. Per principio vale che un edificio non è assoggettato all'obbligo di avere un parafulmine solo perchè vi si installa un impianto fotovoltaico. Nel caso di moduli posati su edifici, per l'installazione ci si deve adeguare alle condizioni locali (v. allegato 1). Il cavo di collegamento dall'ondulatore alla cassetta terminale sul tetto deve essere munito di un rivestimento metallico (p.e. cavo schermato o tubo metallico) avente una sezione minima di 10 mm² (Cu). Sul lato dell'ondulatore, questo rivestimento deve essere messo a terra. Sul lato della cassetta terminale si precede come descritto in seguito.

a) Nel caso di edifici aventi una protezione esterna dai fulmini, l'estremità superiore del rivestimento metallico del cavo di collegamento deve essere unita al telaio metallico dei moduli e all'impianto parafulmini.

b) Nel caso di edifici senza protezione dai fulmini, l'estremità superiore del rivestimento metallico del cavo di collegamento deve essere connesso al telaio metallico dei moduli e a un eventuale conduttore parafulmini dei moduli. Inoltre è necessario

posare, parallelamente e vicino al cavo di collegamento, un collegamento parafulmini isolato che vada dai telai dei moduli alla terra dell'edificio. Quale soluzione alternativa, è possibile il rafforzamento del rivestimento metallico del cavo di collegamento. La sezione complessiva del rivestimento metallico e del collegamento parafulmini deve essere di almeno 25 mm² (Cu).

c) Nel caso di edifici senza protezione dai fulmini, con moduli senza telai metallici e in assenza di conduttori di captazione, si connette l'estremità superiore dell'involucro metallico del cavo di collegamento solo agli elementi di protezione dalla sovratensione ed eventualmente alle strutture metalliche. Si consiglia nondimeno di posare, parallelamente e vicino al cavo di collegamento, un collegamento isolato di protezione dai fulmini quale quello descritto sopra, e di connetterlo in alto con l'involucro metallico. Se il fulmine colpisse l'impianto, questo arrangemento offrirebbe un'ulteriore protezione. Anche per eventuali modifiche successive delle installazioni dell'edificio sarebbe già fornito un possibile collegamento a terra. All'entrata nell'edificio, tra i due conduttori (positivo e negativo) e l'involucro metallico devono essere inseriti degli elementi di protezione dalla sovratensione; essi devono essere sistemati in contenitori difficilmente infiammabili.

Anche all'entrata dell'ondulatore devono essere inseriti allo stesso modo degli elementi di protezione dalla sovratensione. Quest'ultimi devono essere coordinati con quelli presenti all'entrata nell'edificio. Il dimensionamento va fatto seguendo le istruzioni della ditta produttrice. Se le condutture di collegamento tra il passaggio nel tetto e l'ondulatore sono brevi, un gruppo di elementi di protezione dalla sovratensione può bastare.

Se sull'edificio, nel raggio di un metro dai telai dei moduli si trovano altre strutture metalliche, bisogna connettere queste e i telai per la compensazione dei potenziali. Se le superfici metalliche in questione sono piuttosto grandi (p.e. interi tetti in lamiera), per le zone colpite da frequenti temporali si consiglia inoltre di collegare direttamente a terra queste super-

fici come se si trattasse di dispositivi parafulmini.

2.1.7

Uscite dai moduli

L'utilizzo e la disposizione di interruttori, valvole, morsetti di separazione e di collegamento a terra, dispositivi anti-cortocircuito ecc. alle uscite dai moduli e nel cablaggio rientrano nell'ambito della concezione dell'impianto. Questo deve essere concepito in maniera tale da rendere possibile l'esecuzione dei lavori senza pericolo per le persone e le cose. Si ricordi che, in presenza della luce, i moduli conducono sempre corrente. Se del caso, bisogna procedere con le precauzioni che solitamente si adottano per i lavori eseguiti sotto tensione. Il piano delle misure di sicurezza deve essere fissato nelle prescrizioni d'esercizio. I dispositivi di separazione, e le valvole che non possono essere manipolate sotto carico devono essere contrassegnate in modo speciale. I dispositivi di separazione e anti-cortocircuito devono poter commutare le correnti che insorgessero senza alcun pericolo per le persone.

2.1.8

Protezione contro il sovraccarico termico (effetto << hot spot >>)

I moduli connessi in serie vanno protetti mediante diodi by-pass dal sovraccarico termico. In presenza di tensioni di maggiore entità si consiglia inoltre la posa di diodi sulle stringhe.

2.1.9

Protezione delle condutture

Le condutture che uniscono le stringhe connesse in parallelo devono essere dotate di elementi di protezione dalla sovratensione.

Cablaggio

2.2.1

Tipi di cavi e la loro protezione

I cavi devono essere scelti e posati in funzione delle condizioni ambientali cui sono esposti. Si presti particolare attenzione alla protezione meccanica e alla resistenza alla luce. Siccome in caso di cortocircuito non v'è garanzia di sicurezza elettrica per i cavi, il cablaggio deve essere eseguito in modalità di superisolamento e va posato con un collegamento a terra e una protezione dai cortocircuiti. È preferibile che misure dell'isolamento di tutto l'impianto ven-

gano fatte di notte oppure mentre le installazioni a corrente continua si trovano cortocircuitate e senza collegamento a terra.

2.2.2

Armadi di collegamento

Gli armadi collettori per cavi con dispositivi di separazione, interruttori, dispositivi anticortocircuito, morsetti di collegamento a terra, strumenti di misura ecc. devono essere realizzati in funzione delle condizioni ambientali. Tutte le parti elettriche dell'impianto che si trovano posate a cielo aperto devono soddisfare almeno i requisiti di protezione IP54 o requisiti ancor più severi.

Protezione dai fulmini, collegamento a terra

Alla protezione dai fulmini di tutte le installazioni bisogna prestare molta attenzione: le sovratensioni devono essere convogliate al collegamento di terra al fine di prevenire il danneggiamento sia dell'impianto sia dell'edificio. Ovviamente non è possibile conseguire una protezione totale, in particolare dell'ondulatore con la sua sofisticata elettronica.

Per gli installatori è importante eseguire in maniera ineccepibile le misure di protezione dai fulmini all'interno dell'edificio. Oltre alla sezione minima di 25 mm² (Cu) prevista per il conduttore di terra, è importante soprattutto che quest'ultimo venga condotto con ampi raggi di curvatura e lungo la via più diretta all'impianto di terra. Si evitino gli avvolgimenti sui distributori, dunque, su più morsetti. Qualora il conduttore di terra dovesse essere posato sopra parti combustibili dell'edificio o le dovesse attraversare, è necessario avvolgerlo in un tubo incombustibile o difficilmente combustibile. Inoltre, anche i cavi di collegamento devono essere scelti in conformità con le condizioni ambientali.

Impianti nell'esercizio parallelo

In caso di guasto alla rete, gli impianti nell'esercizio parallelo possono costituire un grande pericolo se non vengono staccati automaticamente. La tensione dell'impianto costituisce un grave rischio per le persone che stanno eseguendo lavori sulla rete. Le pre-

scrizioni di sicurezza prevedono pertanto il rispetto delle seguenti condizioni:

2.4.5

Per l'esercizio parallelo con la rete

L'esercizio parallelo con la rete può essere realizzato solo con l'accordo dell'ente proprietario della rete, che ne stabilisce le condizioni. Collegamento a terra e collegamento del neutro devono essere concepiti in funzione della rete, in modo da garantire l'incolumità delle persone e delle cose. Tutte le parti dell'impianto devono essere compatibili con gli impianti di comando della rete (p.e. telecomandi). Un inserimento sulla rete deve essere possibile solo quando l'alimentazione della rete è sotto tensione entro i valori normalizzati.

La sincronizzazione risp. l'inserimento deve essere possibile senza eccessive ripercussioni sulla rete. La regolazione del fattore di potenza deve essere conforme alle prescrizioni dell'ente proprietario della rete. In caso di guasto alla rete, deve assolutamente essere garantito un sicuro disinserimento dell'ondulatore entro 5 secondi. Allo scopo va previsto un dispositivo di protezione multifase, capace di reagire agli scarti dai valori normalizzati delle tensioni e delle frequenze, il cui compito è di staccare l'impianto di produzione d'energia dalla rete. Il buon funzionamento di questo dispositivo protettivo deve essere verificato periodicamente dalla persona proprietaria dell'impianto.

Il reinserimento sulla rete può aver luogo solo quando le condizioni d'esercizio saranno definitivamente ripristinate. Durante il periodo dei reinserimenti sperimentali standardizzati, l'inserimento dell'ondulatore deve rimanere sospeso. I criteri rilevanti devono essere stabiliti in accordo con l'ente proprietario della rete.

Messa in esercizio

Affinchè all'atto della messa in esercizio vi siano condizioni di totale sicurezza, il collaudo da parte dell'azienda fornitrice di energia deve obbligatoriamente aver luogo prima dell'avviamento nell'esercizio parallelo.

Misurazione dell'energia

Su tutti gli impianti nell'esercizio parallelo con la rete, accanto al normale contatore per i prelevamenti deve essere posato anche un contatore per le forniture. Come risulta dall'allegato 2, questo deve essere montato in serie con il contatore dei prelevamenti, segnatamente in maniera tale che, viste dalla rete, l'entrata e l'uscita risultano allacciate all'incontrario. Ambedue i contatori devono essere dotati di un arresto di inversione affinchè misurino il flusso di energia nel senso che si esige da loro.

Per misurare l'energia effettivamente prodotta dall'impianto fotovoltaico si installa un contatore separato, come risulta dallo scheme fornito nell'allegato 2.

Leggi, ordinanze e prescrizioni

Oltre alle speciali prescrizioni, per l'esecuzione, l'esercizio e la manutenzione devono essere osservate anche le seguenti leggi, ordinanze, prescrizioni ecc.:

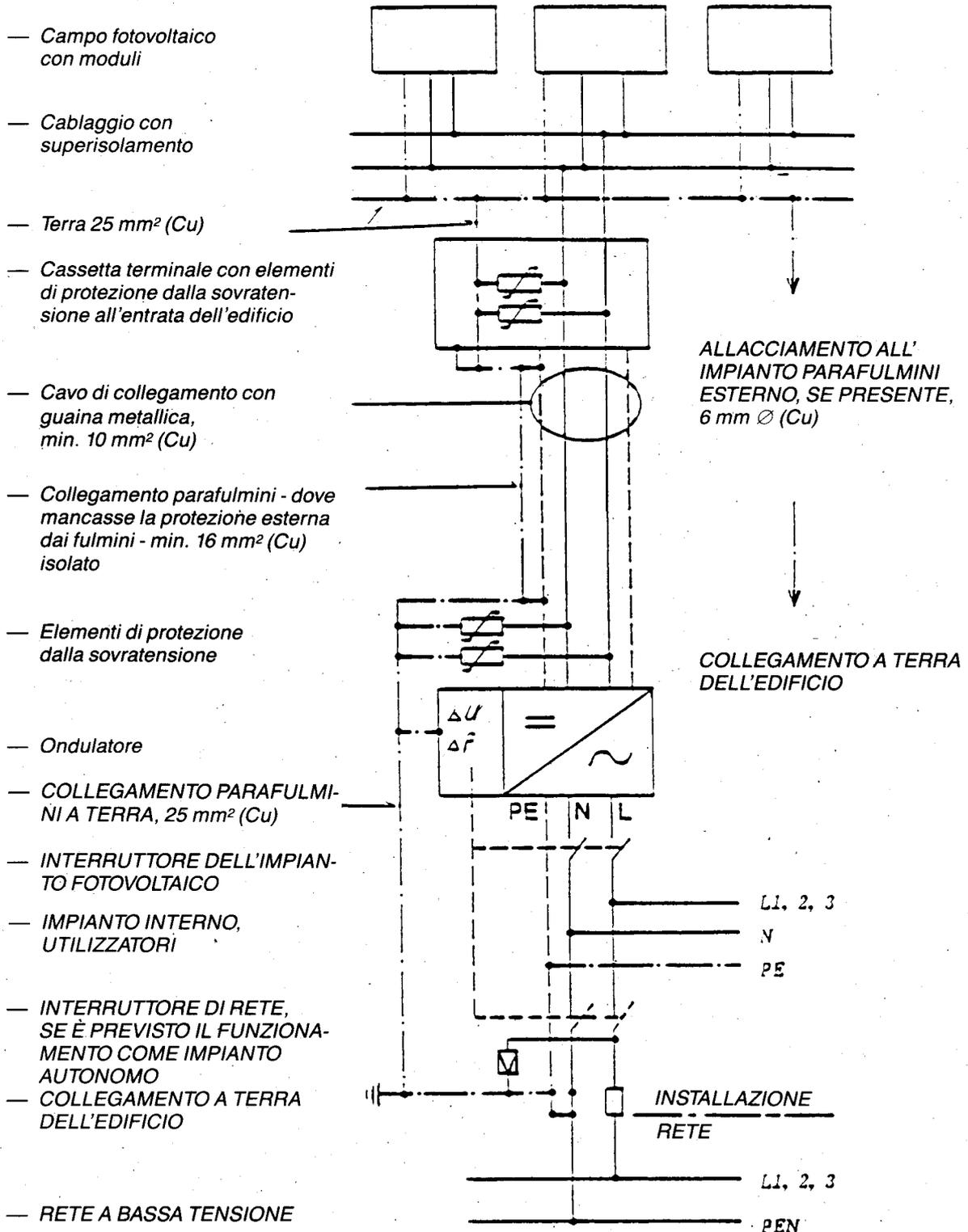
- Legge federale concernente gli impianti elettrici a corrente forte ed a corrente debole LIE, RS 734.0
- Ordinanza concernentei progetti per gli impianti a corrente forte OPCF, RS 734.25
- Ordinanza concernente l'esecuzione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti elettrici a corrente forte (Ordinanza sugli impianti a corrente forte) OICF, RS 734.2
- Ordinanza sui prodotti elettrici a bassa tensione OPBT, RS 734.26
- Ordinanza concernente gli impianti elettrici a bassa tensione OIBT, RS 734.27
- Ordinanza relativa alla protezione contro le perturbazioni elettromagnetiche OPEL, RS 734.35
- Legge federale sull'assicurazione contro gli infortuni LAINF, RS 832.20

- Ordinanza sulla prevenzione degli infortuni e delle malattie professionali OPI, RS 832.30
- Ordinanza concernente la prevenzione degli infortuni per lavori di qualsiasi genere inerenti ai tetti INSAI form. n. 1805i
- Prescriptions de securite provisoires / Provisorische Sicherheitsvorschriften, edizione 1990 Ispettorato federale degli impianti a corrente forte, n. 233.0690 f / d
- Marche en parallele de generateurs electriques avec les reseaux basse tension / Parallelschaltung von Niederspannungs-Energieversorgungsanlagen mit Stromversorgungsnetzen Ispettorato federale degli impianti a corrente forte, n. 219.1081 d / f, ottobre 1981
- Niederspannungs-Eigenenergieerzeugungsanlagen, Ispettorato federale degli impianti a corrente forte, Bollettino ASE 78 (1987) 17,5 settembre
- installations de protection contre la foudre / Blitzschutzanlagen Raccomandazione ASE 4022.1987
- La limitation des perturbations electriques clans les reseaux de distribution (harmoniques et fluctuations de tension) / Begrenzungen von Beeinflussungen in Stromversorgungsnetzen (Oberschwingungen und Spannungsanderungen) Raccomandazione ASE e UCS, ASE 3600-1 ./2./1987
- Prescrizioni della locale azienda elettrica per quanto attiene alle disimmietrie tollerabili (p.e. potenza che consente l'allacciamento monofase)

Inoltre sono da tenersi presenti dell'UCS:

- Directives pour une installation d'autoproduction d'electricity devant être expoitee en parallele avec le reseaux et incluant le prélèvement et la fourniture d'energie au reseau / Merkblatt fur elektrische Eigenenergieerzeugungsanlagen im Parallelbetrieb mit dem Netz und den Energiebezug bzw. Rucklieferung in das Netz des Elektrizitatswerkes UCS 2.24 f o d, ottobre 1981
- Demande de raccordement pour une installation d'autoproduction d'electricite devant être expoitee en parallele avec le reseaux et incluant le prelevement et la furniture d'energie au reseau / Anschlussgesuch fur elektrische Eigenenergieerzeugungsanlagen im Parallelbetrieb mit dem Netz und den Energiebezug bzw. Rucklieferung in das Netz des Elektrizitatswerkes UCS 2.24 f o d, ottobre 1981
- Recommendations pour la tarification d'installations photovoltaiques / Empfehlungen zur Tarifierung von photovoltaischen Anlagen UCS 2.37 f o d

Allegato 1



IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA SU UN EDIFICIO

Allegato 2

