

Il film sutîl in silici amorf inte produzion di energjie eletriche. Risultâts otignûts dal monitoraç di un piçul implant inte Basse Furlane

LORENZO MARCOLINI*

Ristret. La produzion di energjie eletriche cu la tecnologjie fotovoltaiche e dopre pal plui modui di silici cristalin intes dôs varietâts polî e mono. Di cualchi an incâ i produtôrs a stan ancje cirint di incressi la cuote di marcjât dal film sutîl. Inte regjon Friûl Vignesie Julie i prins implants di film sutîl a son stâts fats in silici amorf e un piçul implant al è stât monitorât intal comun di Gonars. I dâts ripuartâts a son za interessants par trai cualchi considerazion sui vantaçs e limits di cheste tecnologjie.

Peraulis clâf. Silici amorf, lûs difondude, eficiencie, scambi sul puest, belanç energetic.

1. La tecnologjie fotovoltaiche. La tecnologjie FV (scurtadure di fotovoltaic) e ven proponude sul marcjât al di di vuê in dôs tipologjiis: a) modui in silici cristalin e b) modui o cuvierturis in silici, o altris sostancis inorganichis, a strât sutîl (o film sutîl). Cheste seconde tecnologjie e à une cuote di marcjât tant plui piçule dal silici monocristalin, che al è il materiâl plui doprât, e dal policristalin. Lis statistiche a mostrin che il marcjât al è cuviert pal 90% dal silici cristalin (Si_c), pal 6,4% dal silici amorf (Si_a) e pal rest (3,6%) di altris tecnologjiis di film sutîl (CIS e Cd-Te). Culî sot o presenti i aspjets costrutîfs che a tocjin di dongje i obietîfs di cheste ricercje.

Il silici cristalin al ven vendût al produtôr di modui in piastrelis FV (celis) di forme cuadrade, par solit di 10,3 cm, 12,5 cm, 15 cm e, di pôc,

* ITI "A. Malignani", AIF (Associazione pal Insegnament de Fifiche), Udin, Italie.
E-mail: l.marcolini @libero.it, lorenzo.marcolini@malignani.it

ancje di 21 cm di lât, classificadis daûr di criteris di eficience e tolerance. Il produtôr di modui al proviôt a saldâlis in schirie cun nastris di ram smaltâts di arint; daspò di chest prin procès di lavorazion (di solit in automatic), lis celis a vegnin sotponudis a un procès di laminazion intun for, in mût di sierâlis intun unic “biscot” (wafer) componût di: une lastre di veri (par devant), un strât antiriflès di EVA, lis celis, un altri strât di EVA e un di TEDLAR (strât protetîf par daûr). Finide le fase di laminazion il biscot al ven metût intune cjamare scure par misurânt la eficience e verificâ il rispjet de norme di certificazion (CEI EN 61215). Il dut ae fin al ven sierât dentri di une curnîs di alumini; par daûr e ven montade une scjate dulà che a son puartâts i colegaments positîf e negatîf e di indulà che a vegnin fûr doi condutôrs pre-cablâts cun conetôrs impermeabii a inseriment rapid.

La produzion di modui a film sutîl, invezit, e je une vore plui semplice, stant che il produtôr di film sutîl al è ancje il produtôr dal modul o des cuvierturis FV¹. Cun di plui il procès al consume mancul energjie de produzion di silici cristalin. Par ce che al rivuarde il film sutîl di silici amorf, al è ancje di meti in evidence che par meti adun il wafer al ven doprât mancul silici, a potence in Watt avuâl, che no intal procès di produzion dal silici cristalin (1 centesim di micrometri cuintri 150-300) e cence refudums.

La prime conclusion di trai e je evidente: il modul in Si_a al dovarès vignî a costâ di mancul dal modul in Si_c a potence in Watt avuâl. Ma il prin al gjolt ancje di une altre cualitât une vore impuartante. Il Watt nominâl di potence di Si_a rispjet al Si_c al prodûs in medie intun an, ae nestre latitudin, plui energjie eletriche (+5 ÷ 8%), tratant che i modui a sedin metûts jù un dongje di chel altri cu la stesse inclinazion e orientament, ven a stâi inte stesse situazion ambientâl². Il timp di restituzion energjetiche (*Pay Back Time*) al devente il parametri plui significatîf dal silici amorf, considerât il benefici ambientâl che al compuarte un valôr bas di chest parametri. Par cuintri, la eficience dal amorf e je une vore plui basse dal cristalin (sù par jù la metât). La diversitât tecnologjiche di chest prodot e ven ancje marcade de norme di certificazion, che cumò si clame CEI EN 61646.

Se la superficie a disposizion e je grande o vin convenience, duncje, a meti sul tet modui in silici amorf. In veretât, il silici amorf al à un procès

di degraît diviers e plui fuart dal cristalin, so redut intai prins mê s di esposizion ae lûs dal soreli³, e chest probleme une vore seri al à frenât il marcjât di chest prodot. I produtôrs (doi o trê a nivel mondiâl) a àn pensât alore di furnî modui cuntune potence plui grande di chê nominâl, in mût di puartâ il modul, dopo i prins mê s di esposizion, ae sô vere potence nominâl.

Lis carateristichis che o vin evidenziât disore, ven a stâi la plui grande produzion di energjie eletriche dal Si_a rispjet al Si_c e i alts rendiments sui modui a pene metûts sul tet, a son stadis testadis intun piçul implant di silici amorf intal Comun di Gonars. Culi sot a 'nt vegnin considerâts i risultâts a un an de instalazion dal "tet FV"⁴, adun cun considerazions intor des politichis di incentivazion regionâl e dal mecanisim dal "scambi sul puest".

2. La storie dal implant. In Italie si è scomençât a fevelâ di dâ la pussibilitât ai privâts di produci energjie ae fin dai agns Novante. Un decret dal Ministeri dal Ambient dai 16/03/2001, publicât su la G.U. ai 29/3/2001, al definîs lis modalitâts di acès al program "10.000 tetti fotovoltaici". La nestre Regjon e je tra lis primis, cu la Provincie, a interessâsi di chest program e di fat il prin bant di finanziament al ven fûr ta chel stes an. Il bant al permeteve di jentrâ in graduatorie a un numar di domandis fin a cuvierzi sù par jù 2 miliarts di vecjîs liris, di mût che tantis domandis a son restadis fûr graduatorie. Viodût il sucès de iniziative, la Regjon e à prontât un altri bant intal 2003. Chi mi fermi par zontâmi ae storie dal piçul implant FV in silici amorf intal Comun di Gonars.

Il bant dal 2003, che al fâs riferiment ae Leç 26.02.2001 n. 4 art. 5, comis 24 e 28, al ripuarte un altri biel sucès. Lis graduatoriis di chei che a àn fat domande di vê il contribût a font pierdût a vegnin publicadis intal 2004. Tal imprimin a vegnin inseridis in graduatorie dome pocjîs domandis, ma ae fin a vegnin cjapadis dentri dutis, sedi chês cun indicadôr di merit alt sedi chês cuntun indicadôr bas⁵. Il tet di contribût al jere dal 70% e il massimâl di impuart di € 8005 par kWp instalât (gjavade la IVZ). L'implant FV di Gonars daspò di un pâr di proroghis al è stât realizât intal 2007 e rindicontât ae Regjon ai 16/03/2007 (Figure 1). Vint fate domande di colegament al gjestôr de rêt publiche di distribuzion, l'E-NEL di Monfalcon al à proviodût a mandâ i tecnics a instalâ il contadôr



Figure 1. Tet FV di Antognan colegât ae rêt pôc dopo de Pasche dal 2007.

bidirezionâl digjitâl ai 23/05/07. Ae 10 e mieze, cualchi minût pluî cualchi minût mancul, l'implant FV al è jentrât in funzion dopo sei stât sot dal soreli cence produci par pôc pluî di doi mê.

3. La tipologia di implant FV e aspetativis di produzion. L'implant al è stât realizât cun 36 moduli KANEKA GEA par une potence nominâl complessive di 2,160 kWp (ancje se a preventîf a jerin previodûts 2,97 kWp). Il cjamp FV al è stât colegât ae rêt ENEL cuntun inverter SMA 1700E.

Lis carateristichis dal modul a son: $V_{oc} = 92 \text{ V}$; $V_{mp} = 67,0 \text{ V}$; $I_{sc} = 1,17 \text{ A}$; $I_{mp} = 0,9 \text{ A}$; $V_{oc} (-0^{\circ}\text{C}) = 101,0 \text{ V}$; $V_{mpp} (+70^{\circ}\text{C}) = 58,6 \text{ V}$; $\Delta V\% (\%/^{\circ}\text{C}) = -0,305$; $\Delta I\% (\%/^{\circ}\text{C}) = +0,0752$; $L \times H \times h = 990 \text{ cm} \times 960 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$.

Il costrutôr al pant ancje che il film sutîl al è stât poiât su di un veri di 4 mm di spessôr cun daûr une protezion in TEDLAR. Il pês complessîf al è di cirche 18 kg cuntune efficienze di modul in condizions STC (Standard Test Condition) di 6,3% cun tolerance $-5/+10\%$.

Il gjeneradôr FV al presente chestis carateristichis di cjamp: numar di stringhis $N_s = 9$; numar di moduli par stringhe $N_m = 4$.

Il projet, firmât di un professionist diretôr tecnic de Dite⁶ che e à realizât l'implant, al declare i dâts segnâts chi sot: rindiment di conversion (tingint cont dal BOS⁷): 83,5%; producibilitât stimade anuâl: 2365 kWh.

Il tet FV al è stât poiât suntuone falde in cop cun pendance di 18° e orientât a sudovest a 135°.

Par vê un altri riferiment su la prevision di producibilitât o ai provât a simulâ la produzion cuntun software furnît de SMA (Sunny design V1.49) scjamât di Internet. A lis propuestis dal program o vin rispuindût cussì:

Posizion:

lûc: Milan⁸

angul di tilt (inclinazion dal plan dai modui): 18°

azimut (angul di spostament su la direzion dal misdi considerade 0°): 45° a soreli a mont

Modul FV:

KANEKA GEA

tension di potence massime (V_{mp}): 67 V

corint di potence massime (I_{mp}): 0,9 A

potence nominâl (P_{mp}): 60 W

Inverter:

SB 1700-I⁹

potence c.c. massime (P_{cc}): 1,85 kW

potence c.a. massime (P_{ca}): 1,7 kW

corint massime lâc c.c.: 10 A

corint di potence massime (I_{mp}): 9,6 A

grât di rindiment massim: 93,5%

interval di tension in jentrade ΔV: 139 ÷ 400 V

tension di rêc: 180 ÷ 262 V

frecuence di rêc: 47,5 ÷ 50,5 Hz.

Il software di simulazion al à prodot i risultâts segnâts chi sot:

potence nominâl dal cjamp FV: 1,98 kW_p

numar di stringhis N_s: 11

numar di modui par stringhe N_{m,s}: 3

superficie dal gjeneradôr FV: 32,0 m²

tension V_{mp} (70°C): 173 V
tension V_{oc} (-10°C): 319 V
corint massime gjeneradôr FV: 9,9 A
corint massime lâc c.c.: 10 A
utilizazion dal inverter: 91,6%
rapuart di potence nominâl: 93%
utilizazion de energjie: 100%
rindiment massim¹⁰: 79%
rindiment energjetic specific: 1080 kWh / kW_p
rindiment energjetic anuâl: 2138 kWh.

Tornant a cjâf dal discors, ven a stâi al confront fra i dâts reai di produzion e efficienze misurâts sul puest e chei declarâts dal produtôr, mi soi proponût di: a) verificâ se la produzion dal silici amorf e je, considerâts i vincui ambientai e de costruzion, plui di 1100 kWh / kW_p che al è ce che si spietin dal silici amorf rispjet al silici cristalin che, intes istessis condizions, al produserès mancul di 1100 kWh / kW_p (almancul un 5%); b) verificâ se le efficienze dal implant si sbasse une vore intai prins mêis, stant che le potence di pic dal modul tal principi e je superiôr ai 60 W_p e che cul timp il sisteme si stabilize sul valôr nominâl.

Avertence. Il software al à imponût une configurazion diverse dal tet FV, cuntun numar di moduli Nm = 33 cuintri dai 36 di progjet, un numar di stringhis Ns = 11 di 3 moduli ognidune invezit di 9 stringhis di 4 moduli e une potence nominâl dal cjamp FV di 1,98 kW_p invezit di 2,160 kW_p. Il software, ven a stâi il programadôr, pensant di vê a ce fâ cun int pôc pre-parade, nol permet di sfuarçâ la situazion reâl, stant che cuntune configurazion di stringhis diferente, al vise il programadôr, l'inverter proponût al riscjarès di brusâsi. Il risultât jessût dal calcul dal program al è stât otignût previodint che il modul al vegni utilizât in cualsisei situazion climatiche e duncje ancje in condizions climatichis al limit. I progjetiscj a san, di fat, che une fuarte increment di temperature e riscje di mandâ la tension di jentrade dal inverter sot di 139 V e, a temperaduris une vore bassis, parsore di 400 V.

Viordin di fat che sielzint Ns = 9 e Nm,s = 11 il program al da chescj risultâts:
tension a vueit V_{oc} (-10°C): 426 V (> 400 V); corint massime dal gjeneradôr FV: 8,1 A (> corint massime lâc c.c.: 7,5 A).

A son doi dâts che a van adun cu la avvertence: atenzion, inverter in pericol!

Si trate di un câs limit che inte Basse Furlane si verifiche di râr e, se al dovès capitâ, al è scûr di gnot o il timp al è innulât. Al è ancje il câs di zontâ che il pericol che l'inverter si brusi par corints di sore suee al domande che la situazion fûr dal normâl, ven stâi biel timp e temperaduris une vore bassis, e ledi indevant par un interval une vore lunc. In conclusion la preoccupazion di vê fat une siele di progjet a riscjo di fâ dams no à mutif di esisti. Plui-

tost cheste e je une ocasion par marcâ il fat che une simulazion no pues sostituî il çurviel uman che al trai lis conclusions resonant sui fats de esperience metûts a confront cui risultâts dai modei teorics.

Par no tirâle masse a dilunc viodìn di inzornâ il dât de simulazion zontant la cuote di energjie dai trê modui no considerâts e tignint cont dal BOS (pierditiis stimadis intor dal 1,5%): $E = [2138 + (2138 / 33) \cdot 3] - 1,5\% \cdot 2332 = 2297 \text{ kWh}$. Se o sin avonde dongje de veretât, come che si pues suponi dal fat che o vin trê risultâts avonde apossimâts (2365, 2138 e 2297 kWh), o vin di provâlu cu lis misuris fatis sul puest. Ma prin di presentâ i risultâts, in automatic dal inverter e dal contadôr di energjie eletriche, e manuâl par dedusi le efficienze, al è necessari spindi cualchirie par clarî i aspjets tecnics e implantistics di cheste tipologjie di implants FV.

4. Produci energjie eletriche cui modui fotovoltaics e scambiâle sul puest. Inte dade di timp tra la domande e la realizazion dal tet FV, il Ministeri des Ativitâts Produtivis cul DM 28/07/2005 al veve fissât i criteris pe incentivazion de produzion di energjie eletriche midiant conversion fotovoltaiche de font solâr (G.U n. 181 dai 05/08/2005), cognossût cumò tant che “vecjo cont energjie”. Il “cont energjie” al è stât un proviodiment necessari par passâ di une fase di sperimentazion fate cu la politiche dai contribûts in cont capitâl a une di supuart ae creazion di un marcjât che al produci une diminuzion rapide dai presits par kW (€ 8005 par kW vuê al samee une esagjerazion!). Intal 2007, simpri il Ministeri des Ativitâts Produtivis al fisse cul D.M. 19/02/2007 i gnûfs criteris pe incentivazion de produzion di energjie eletriche midiant conversion fotovoltaiche de font solâr, in atuazion dal articol 7 dal D.L. dai 29/12/2003, n. 387 (G.U. 23/02/2007 n. 45) cognossût vuê come “gnûf cont energjie”. Sei il gnûf che il vecjo “cont energjie” a adotin il mecanisim dal “scambi sul puest”. Il servizi di scambi sul puest al è une forme particolâr di “autoconsum” che e permet ae energjie produsude dal implant FV, ma che no ven consumade e duncje e jentre intal “magazin” de rê, di vignî cjolte e doprade intun moment diferent di chel di produzion. Intai implants FV incentivâts de Regjon chest servizi al va a zontâsi al contribût, invezit intai implants in cont energjie il servizi al va a zontâsi

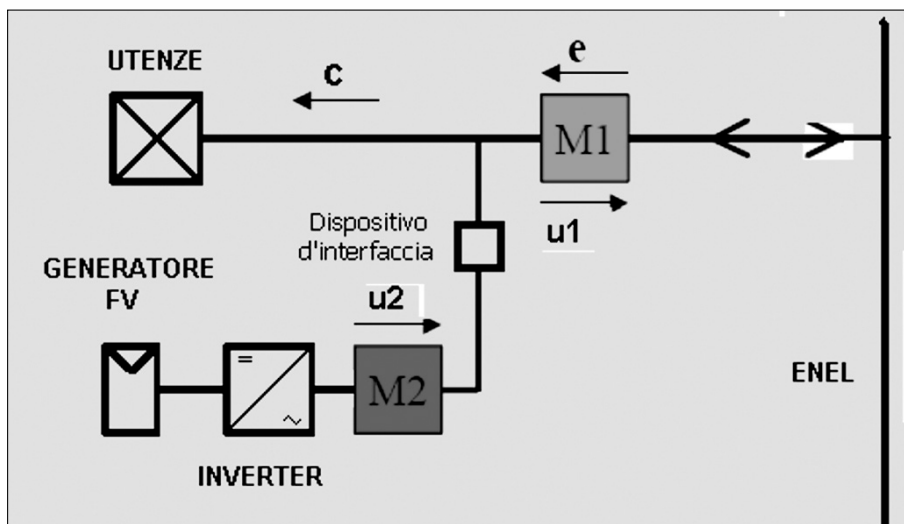


Figure 2. Disen a blocs dal mecanisim di scambi sul puest.

al incentîf paiât su dute le produzion di energjie eletriche produsude dal implant FV.

Fin ai 31.12.2008 il scambi al vignive gjestît dal ENEL par cont di dutis lis Societâts di distribuzion seont di un mecanisim clamât “misurazione in rêt” o cun peraulis inglesis *net metering*. In struc, al vignive permetût al client vie pal an di consumâ e produci energjie eletriche cence il vincu “prodûs e consume sul moment”; se consum e produzion a van par cont lôr alore il contadôr bidirezionâl, regjistrant un flus di energjie scambiate cu la rêt, al distingueve le energjie in jentrade (consumade o cjolte) di chê in jessude (produsude o dade fûr). Ae fin di ogni an al vignive calculât il salt di energjie, vâl a dî la difference fra la energjie mandade in rêt e chê cjolte sù de rêt. Se il salt al jere negatîf il prelêf dal client al jere considerât avuâl dal salt e su chel valôr i vignive aplicade la condizion contratuâl di furnidure dal distributôr; se il salt al jere positîf il prelêf dal client al vignive considerât tant che nuie e il salt positîf al diventave un credit di energjie che al podeve jessi doprât intai agns a vignî. In buine sostanzie il balanç energjetic al ven a jessi:

$$\int p_{f_v, E}(t) dt - \int p_E(t) dt = \int p_{f_v}(t) dt - \int p_c(t) dt$$

- $p_{f_v, E}$ = potence eletriche vetoriade in rêt (utent viers ENEL – dade fûr);
- $p_E(t)$ = potence eletriche distribuide de rêt (ENEL viers utent – cjolte);
- $p_{f_v}(t)$ = potence eletriche totâl produsude dal gjeneradôr FV (calcolade dal inverter intal câs dai implants cun contribût o calcolade dal contadôr certificât ENEL in jessude dal inverter lâc c.a. (te Figure 2: M2) intal câs dal cont energjie;
- $p_c(t)$ = potence eletriche consumade dal client.

Intal periodi di timp sielt il calcul integrâl fat dai contadôrs al da un numar complessîf di kWh cussì dividûts (viôt Figure 2):

$$u_1 - e = u_2 - c$$

Cheste modalitât di *metering* no tignive cont di une bande dal dife-rent valôr de energjie eletriche mandade in rêt e chê cjolte de rêt, e di chê altre dal cost dal servizi che al vignive scjariât su dutis lis utencis. Cussì cul 1 di Zenâr dal 2009 e je vignude fûr la delibare ARG/elt74/08, che e cjape il puest de delibare AEGG n. 28/06 dai 2 di Fevrâr dal 2006, dulà che si dîs che di li indenant il GSE (Gjestôr dai Servizis Eletrics nazionâl) al sarès diventât il sôl sogjet intermediari a nivel nazionâl pe regolazion de energjie eletriche ametude al scambi sul puest. A tacâ di cheste date il GSE al à il compit di regolâ il servizi di scambi sul puest sot forme di contribût associât ae valorizazion a presits di marcjât de energjie scambiade cu la rêt, ven a stâi che il GSE al corispuint al utent dal implant FV, clamât SR = Sogjet Responsabil, un contribût in “Cont Scambi (CS)” cul obietîf di ricognossii un cost, chel dal acuisit di energjie eletriche, che in realtât nol varès dovût cjapâsi in caric dentri dai limits de energjie produsude.

5. Lis misuris su la produzion e su la eficiencie. Lis variabilis riferidis ae *produzion di energjie* (W, Wh, V, A, h e v.i.) a son stadis rigjavadis de leture dal quadri sinotic sul schermi di un pc (Figure 3) colegât traviers de puarte seriâl RS232 al inverter cuntun condutôr eletric adat pal tra-spuart dal segnâl. Lis *variabilis ambientâls* (Wm^{-2} , °C)¹¹ a son stadis ti-

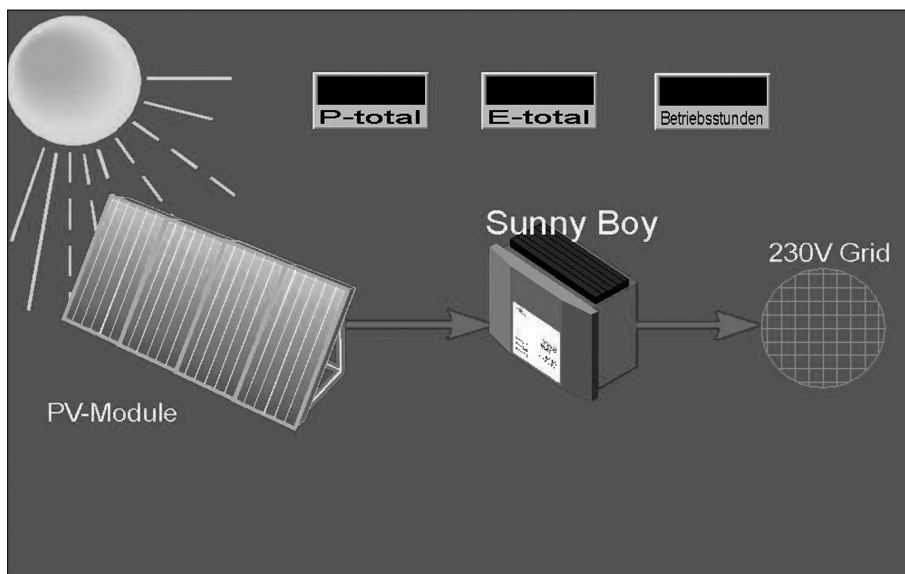


Figure 3. Cuadri sinotic ripuartât sul schermi dal pc.



Figure 4. Solarimetri.

radis jù a man de leture dal visualizadôr di un solarimetri Mc Solar SLM0118c (Figure 4).

I valôrs di energjie scambiate sul puest a son stâts calculâts ogni setemane interogant il contadôr bidirezionâl dal ENEL sistemât sul pont di consegne, in sostituzione dal precedent analogjic. La utence è a un contrat cul ENEL di 3,3 kW di potence di rê. Lis leturis sul inverter de energjie produsude globalmentri e chês de energjie scambiate a son ladis indevant par un an, ma cun datis di inizi e di fin spostadis come che si viôt te Figure 5.

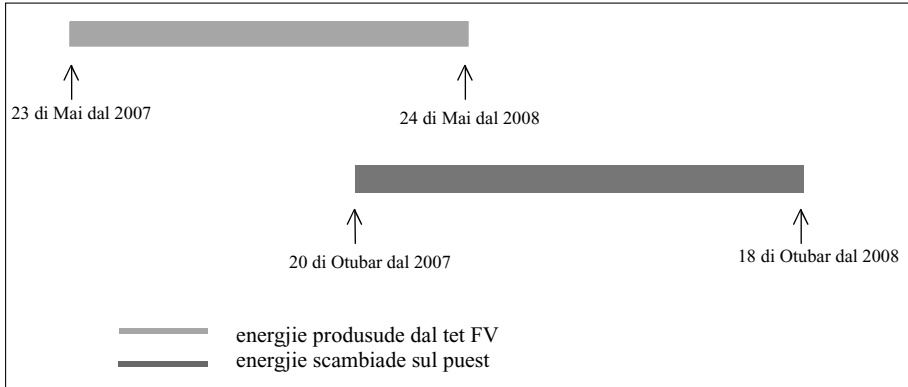


Figure 5. Interval temporâl di misurazione de energjie produsude dal tet FV e de energjie scambiade sul puest.

I risultâts des misuris de produzion. Chi sot a vegnin ripuartâts i dâts dal monitoraç che al è lâf indevant par un an.

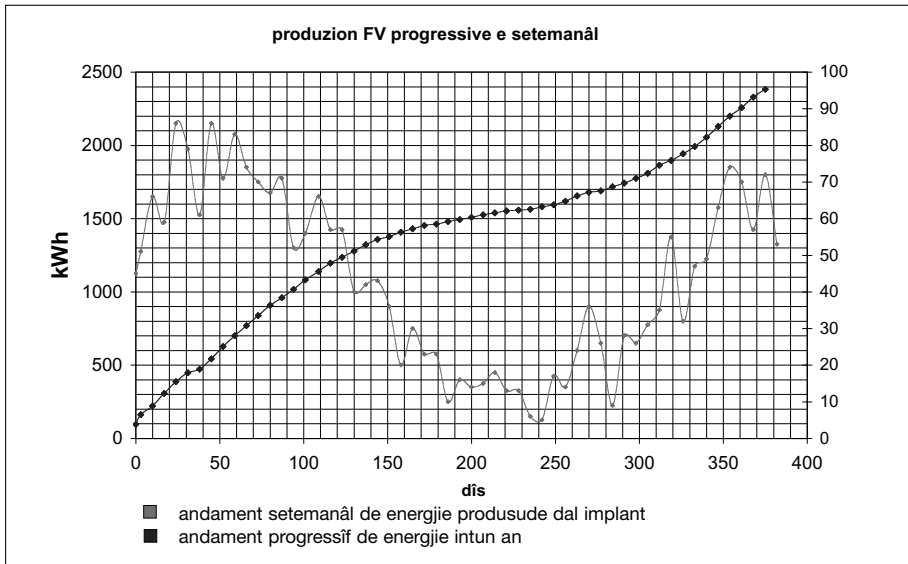


Figure 6. Energjie produsude dal tet FV intal periodi dai 23 di Mai dal 2007 ai 24 di Mai dal 2008.

Produzion totâl: 2271 kWh, vâl a dî un heq = 2,84 h / kWp

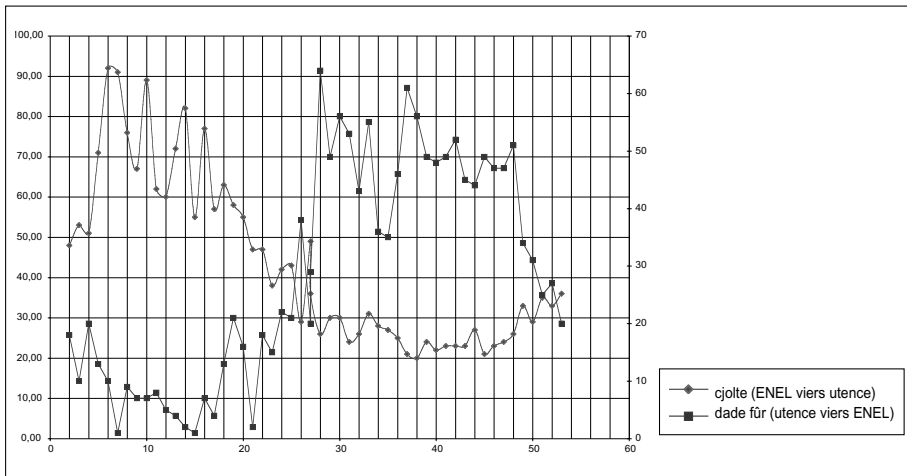


Figure 7. Energjie scambiade sul puest.

ENEL viers utence: 2300 kWh
 Utence viers ENEL: 1513 kWh

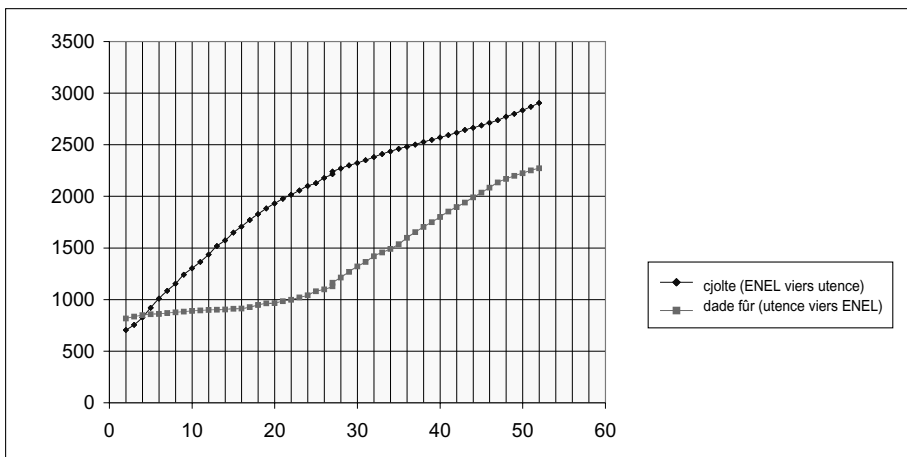


Figure 8. Cuanitât progressive di energjie scambiade sul puest dai 20 di Otubar dal 2007 ai 18 di Otubar dal 2008.

Avertence: tal moment dal colegament il contadôr al ripuartave il dât di partence (default): 651.

Risultâts a consuntîf dal consum e de produzion:
 Diference a debit viers ENEL: 787 kWh
 Consum totâl: 3058 kWh

Considerazioni su la produzion e sul consum. L'implant FV al à produsût 2271 kWh. Chest risultât al è in linie cu lis previsionis che a jerin di une medie tra la produzion previodude dal progetist (2138 kWh) e chê dade de simulazion (2365 kWh): $(2138 + 2365) / 2 = 2251$ kWh, un risultât dome di 10 kWh plui bas di chel reâl. Se o cjalin il parametri di oris ecui-valentis $heq = 2,84$ h o viodìn che al è confrontabil cun chei dai implants in silici cristalin monitorâts intal 2004 (in cont di chest viôt Marcolini 2005) che chi o ripuartin in schirie: falde Sud Si_p 2,84 h Cuar di Rosacis; falde Sud Ovest Si_p 2,85 h Cividât; terace Sud Si_p 3,13 h Udin. I dâts a disposizion (pôcs) a son significatîfs ma no nus permetin di sbe-lançâsi. Par altri, bisugne tignî cont che il dât di heq dal nestri implant in silici amorf al pues sei miorât, stant che l'inverter SMA 1700E al è probabil che al tai lis pontis di potence massime (1,85 kW di potence massime lâc c.c. cuintri di une potence nominâl di 2,160 kW) e che ae fin dal Autun, vie pal Invier e tai prins mêis de Vierte le falde e va in ombrene bande soreli pognet.

Par chel che al rivuarde il consum di energjie eletriche in relacion ae produzion di energjie FV si puedin trai chestis considerazions.

La produzion FV e je stade dividude jenfri il consum familiâr di 758 kWh e i 1513 kWh mandâts in rê; le famee e à vût bisugne di altris 2300 kWh che a son stâts furnîts dal ENEL. Duncje il consum totâl al è stât di 3058 kWh. La famee par cuvierzi ducj i siei consums e varès di zontâ (superficie dal tet permetint) une potence di: $P = 787 \text{ kWh} / (2,84 \cdot 365) = 0,77 \text{ kWp}$, ven a stâi cirche 3 stringhis di 4 modui par un totâl di 0,72 kWp; a chest pont si à di considerâ une corint di potence massime Imp plui grande di 2 A, che il nestri inverter al è ancjemò in grât di ricevi. Chescj a son calcuî teorics parcè che, par zontâ potence, il produtôr al varès di comprâ i modui al 100% dal cost. Al conven invezit paiâ la energjie che e reste, viodût che e gjolt de tarifazion plui basse.

I risultâts des misuris di eficiencie. Pe misurazion de eficiencie o rindiment dal implant FV mi soi limitât a aplicâ lis formulis scritis intes sôs publicazions dal ENEA – l'Ent di riferiment scientific par cont dal Ministeri dal Ambient – par ducj i costrutôrs di implants FV, che a son tignûts a zontâ al progjet la verifiche tecniche funzionâl. Cheste verifiche, di fat, no va a scrusignâ se la cualitât dai modui e je chê certificade de norme

CEI 61646 ma se il costrutôr al à tignût cont dal BOS. Le formule doprade si scrîf:

$$r\% = (P_{cc} / I) / (P_n / I_{STC}) \cdot 100$$

P_{cc} e je le potence (in kW) misurade in jessude dal gjeneradôr FV tal pont di potence massime ($P_{cc} = V_{mp} \cdot I_{mp}$)¹² cun precision plui grande dal 2% (certificade dal costrutôr dal inverter¹³), $P_n = 2,160$ kW la potence nominâl dal gjeneradôr FV; I la intensitât di radiazion misurade sul plan dai modui cun precision miôr dal 3% (certificade dal costrutôr dal solarimetri); I_{STC} la radiazion in condizions STC avuâls di 1000 W/m^2 cun 25°C di temperadure di cele.

Une buine verifiche e domande di avvicinâsi a condizions ambientâls che a permetin di verificâ se e ven superade la suee ripuartade sot:

$$P_{cc} > I / I_{STC} \cdot P_n \cdot 0,85$$

ven a stâi un rindiment superiôr al 85%. O ai vût cure di tignî cont di chestis indicazioni dal ENEA: considerâ se a son verificadis condizions di radiazion solâr stabilis intun cîl cence nûi blancs ator di un coni di 60° di vierzidure intor dal soreli; fâ di mancûl di fâ misuris in zornadis masse cjaldis stant che la temperadure di cele e podarès ancje rivâ a plui di 60°C e chest al bute jù une vore il rindiment; fâ di mancûl di fâ misuris in zornadis di scjafioiaç stant che il contignût di aghe intal aiar al aumen-te la percentuâl di radiazion difondude, e chest al bute jù il rindiment; poiâ il sensôr sul plan dai modui dongje dal cjamp FV o miôr, come che al è stât fat sul tet di Antognan, poiâlu su la curnîs di un modul; fâ misuris cun radiazion di almancul 600 W/m^2 ; ae fin, nancje a dîlu, verificâ che no colin ombrenis sui modui.

Lis misuris tiradis jù ai 4 di Març dal 2007, ven a stâi prime dal colegament dal contadôr bidirezionâl ENEL, a son stadis fatis intal interval tra lis dîs e trê cuarts e lis dôs dopomisdî. A son stadis cjapadis par buinis 6 misuris su 7.

I risultâts a son une vore alts, ancje cence aplicâ lis corezions in temperadure che a son previodudis parsore de temperadure di 25°C di cele.

N	ore	I(W/m ²)	Pcc(W)	T(°C)	r% ¹⁴
2	11.00	564	1036	n.d.	85,0
3	11.40	645	1201	n.d.	86,2
4	12.00	695	1326	32,7	88,3
5	12.40	785	1410	35,3	83,2
6	13.00	802	1449	34,2	83,6
7	14.00	829	1328	32,3	74,2

La seconde session di misuris e je stade fate tal dopomisdì dai 9 di Setembar. A son stadis cjadadis par buinis 7 misuris su 9.

N	ore	I(W/m ²)	Pcc(W)	T(°C)	r%
1	16.10	790	1280	36,1	75,0
2	16.15	780	1282	36,7	76,1
3	16.20	740	1255	37,8	78,5
4	16.30	680	1228	39,1	83,6
5	16.45	660	1290	39,9	90,5
7	17.10	440	707	24,4	74,4
8	17.30	420	645	24,8	71,1

O viodìn che i rindiments a son in medie plui bas dopo plui di trê mès di produzion. Al è di tignî cont che lis dôs ultimis a son sot de suee di 600 W/m². Lis dôs zornadis, cheste e chê prin, a son di considerâ avonde similârs dal pont di viste dal riscjaldament des celis e des condizions meteorologjichis.

Le tierce session di misuris e je stade fate ai 27 di Zenâr dal 2008.

N	ore	I(W/m ²)	Pcc(W)	T(°C)	r%
1	13.35	338	526	19,1	72,0
2	13.40	285	364	18,1	59,1
3	13.52	363	550	17,1	70,1
4	14.08	383	505	17,2	61,0
5	14.19	403	498	17,2	57,2

O viodìn che lis misuris si son ancjemò plui sbassadis, ancje se in condizion di radiazion tant plui basse de suee di 600 W/m². Il confront al è di fâ cu lis dôs ultimis misuris 7 e 8 dai 9 di Setembar tignint cont de temperadure frede di cele.

Non son stadis fatis altris misurazions.

Ancje se a mancjin altris inzornaments¹⁵ e je avonde evidente le tin-

dince ae stabilizazion dal rindiment a un valôr une vore plui bas di chel dal mê di Març cuant che i modui a son stâts esponûts al aiar sul cuviert dal tet¹⁶. Anzit al ven di dî che il rindiment in produzion di energjie al è miorât. Di une bande probabilmentri parcè che il silici amorf al manten la sô eficienze soreduet cun radiazion difondude e al resist ben a lis altis temperaduris, di chê altre bande parcè che la famee e à imparât a doprâ cun inteligjence i aparâts eletrics par podê mandâ in rêt tante plui energjie pussibile e consumâ mancul pussibil, e chest par recuperâ prime l'investment.

Conclusions. L'implant FV a silici amorf al à confermât in part il pont a) e dal dut il pont b) enunciâts tal paragraf 3. Che il silici amorf al produ-si in medie plui energjie (+5 ÷ 8%) dal silici cristalin (soreduet dal poli-cristalin) al è di verificâ su scjale plui largje e in condizions ambientâls ecuivalentis. Sul dât di rindiment, invezit, al è confermât che, intai prins mê, il rindiment si manten une vore alt. Ma si pues ancje trai une altre considerazion impuartante. La valutazion de cualitât di une soluzion intal cjamp de produzion di energjie eletriche cun tecnologjie FV e sta no tant inte verifiche de eficienze, che al è un dât fundamentâl di controlâ e miorâ in laboratori, ma pluitost intal proget e inte realizazion dal implant. Un implant ben progetât e realizât cuntune prevision realistiche su la sô producibilitât e cuntun plan di recupar dal investment, dutun cu la vocazion dal client di diventâ “sogjet responsabil” come che al ven clamât de legjislazion dal cont energjie, al prodûs ricjadudis positivis sul progetist, su la imprese e sul client. Sul progetist e la imprese parcè che si spant il bon non che al jude a fâ profit, sul client che al à sodisfazion a viodisi rivâ boletis lizeris, e ancje gratificazion a sintîsi valorizât come citadin che al contribuîs a mantignî l'ambient san par se e pes gjenerazioni che a vignaran.

¹ Un dai vantaçs dal film sutîl al è chel di depositâ il materiâl fotosensibil su cualsei supuart, ancje flessibil, e chest al favorîs lis soluzions architetonichis: balcon, impermeabilizacions, e v.i.

² Chest risultât si spiegh e soreduet pal fat che il “salt cuantistic” di energjie dal Si_a al è plui alt (1,7 eV) rispjet al Si_c (sù par jù 1,1 eV) e duncje

al assorbîs cun plui eficienze i fotons “frêts” o “blu” contignûts inte radiazion difondude che si à soreduet tes zornadis di nûl; par chest, il silici amorf al è conseât pe instalazion in regions cun tantis zornadis innuladis come il Friûl Vignesie Julie. Altris particolârs si cjatin tes direzions web da pît di chest articulo.

³ Chest efiet al è clamât “Stabler-Wronsky” (viôt direzions web da pît di chest articul).

⁴ Al moment di scrivi chest articul a son passâts doi agns e mieç di produzion.

⁵ L’indicadôr di merit al risultave tant plui alt tant plui scont a preventîf al vignive fat sul tet di € 8005 / kWp e tant mancul e jere le cuote di contribût domandât rispjet ae cuote massime dal 70%.

⁶ Dite Pozzetto Silvio sas Implants eletrics e fotovoltaics di Manzan (Ud).

⁷ Su la interpretazion dal BOS (Balance Of System) viôt Gelleti e Tomasinsig (2003), pp. 47-48.

⁸ L’Archivi di dâts dal program, proponût par un ûs su scjale internazionâl, nol permeteve di sielzi altris localitâts plui dongje di Gonars. Lis dôs latitudins a risultin sù par jù compagnis (Milan 45° 28’, Gonars 45° 54’) e duncje i dâts a son di riti-gnî verisimii.

⁹ L’inverter SMA doprât intal implant di Antagnan di Gonars nol è presint intal Archivi di dâts parcè che fûr produzion. Si trate dal inverter SMA SB 1700 cun carateristichis similârs; lein i dâts di targhe: $\Delta V: 139 \div 400$ V; $P_{cc} = 1,850$ kW; $P_{ca} = 1,7$ kW; $I_{mp} = 12,6$ A.

¹⁰ Il dât al è criticabil stant che un inverter al à di rivâ a un rindiment di conversion di almancul il 95% su dutis lis tensions in jessude dal cjamp FV; il software nus vise di chest dât cence dâ spiegazions.

¹¹ La temperadure no je stade misurade diretementi dal modul cuntun sensôr di temperadure ma dal sensôr aplicât daûr de celute di silici monocristalin dal solarimetri; o vin reson di pensâ che lis dôs misuris, chê suponude e chê real che o vin misurât, no sedin tant distantis.

¹² O ricuardi che un inverter intun implant colegât ae rêt al lavore simpri intal pont di massime potence, pont che al ven clamât MPPT (Maximum Point Power Tracker).

¹³ Par une leture di precision sul visualizadôr sostitutive di chê dal contadôr eletric, il costrutôr al varès di fâ riferiment ae norme CEI EN 50470-1; al è di dî, par altri, che il costrutôr inte declarazion di conformitât domandade dal ENEL par colegâ l’inverter ae rêt nol fâs riferiment a cheste norme; al reste il dubi che tra la leture fate sul visualizadôr dal inverter e chê di un contadôr eletric a sedin diferencis.

¹⁴ Par une discussion sul calcul dai rindiments viôt Marcolini (2005).

¹⁵ E je stade fate une session di misuris daspò cualchi mê di instalazion su di un implant di 20 kW in silici amorf a Manzan (Ud) e a son stâts misurâts rindiments simpri plui alts dal 80%.

¹⁶ Un bon motîf par cjatâsi in acuardi cun cheste conclusion al ven dal considerâ che la produzion prime che chest articul al les in stampe (Setembar dal 2010) no je cambiade.

Bibliografie

Web e sfueis tecnics

http://www.kensan.it/articoli/Energia_Solare_Fotovoltaica_Amorfo.php

http://www.rtoib.it/file/Presentazione_R2B_2007_ridotta_cellesolari.pdf

http://www.ingegneriadelsole.it/silicio_amorfo.htm

<http://it.wikipedia.org/wiki/Silicio>

http://odl.casaccia.enea.it/FADIII/Gen/Fotovoltaico/Mod_G/fotov_G5all_2.htm

Publicacions e tesj di tecniche implantistiche e tecnologie FV

Gelleti R., Tomasinsig E. (2003). *La tecnologia fotovoltaica. Stato dell'arte e potenzialità di impiego nei processi produttivi*. Trieste: Consorzio per l'AREA di ricerca scientifica e tecnologica di Trieste AREA Science Park.

Jardine C.N., Conibeer G.J., Lane K. (2001). *PV-compare: Direct comparison of eleven PV technologies at two locations in Northern and Southern Europe*. Proceedings of the 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), Munich 2001.

Marcolini L. (2005). *La energieleletriche fotovoltaiche dal laboratori al implant finit. Une osservazioni ai risultats disvilupats daspo il prin bant de Regjon Friul Vignesie Julie. Gjornal Furlan des Siencis*, 6: 9-61.

Shock H.-W., Pfisterer F. (2001). *Thin-film solar cells. Past, present ... and future. Renewable energy world*, 4, 2: 75-87.

Articui di ricerce

Apicella F., Giglio V., Pellegrino M., Ferlito S., Flaminio G., Okamoto Y., Tanikawa F. (2005). *a-Si thin film modules: operational experience and performance dependency on PV technology and environment*. Proceedings of the 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), Barcelona 2005.

Meier J., Kroll U., Spitznagel J., Fay S., Bucher C., Graf U., Shah A. (2002). *Progress in amorphous and "micromorph" silicon solar cells*. Proceedings of the International Conference PV in Europe: From PV Technology to Energy Solutions, Rome, 7-11 October 2002, www.unine.ch/web_pvlab/Publications/PS_files/paper_355.pdf

Shah A. V., Meier J., Freitknecht L., Vallat-Sauvain E., Bailat J., Graf U., Dubai S., Droz C. (2001). *Micromorph (microcrystalline / amorphous silicon) tandem solar cells: status report and future perspectives*. Proceedings of the 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), Munich 2001, www.unine.ch/web_pvlab/Publications/PS_files/preprint_344.pdf

Libris di test di fisiche

Würfel P. (2009). *Thin-film solar cells. In Physics of solar cells. From principles to new concepts*. Weinheim: Wiley-VCH.

Zanetti V. (1989). *L'energia raggiante e l'energia solare*. In *La fisica intorno a noi*. Bologna: Zanichelli.