

# La energjie eletriche fotovoltaiche dal laboratori al implant finît. Une osservazion ai risultâts disvilupâts daspò il prin bant de Regjon Friûl Vignesie Julie

LORENZO MARCOLINI \*

**Ristret.** La tecnologia fotovoltaiche si sta rivelant in di di vuê une des plui impuartantis fonts no esauribilis pe produzion di energjie eletriche. La ricercje di une conversion plui eficiente de energjie eletriche dal soreli zontraviers la piastrele fotovoltaiche e i programs di sparagn energjetic dai Stâts plui svilupâts a scomencin a produsi i prins risultâts, sedi tai laboratoris, dulà che si studiin lis leçs fisichis e i gnûfs materiâi par incressi la eficienze, sedi inte inzegnerie là che si realizin progjets plui eficients. Tai ultins agns ancje inte nestre Regjon si scommence a lâ oltri la sperimentazion, metint adun implants convenzionai cun tecnologjiis plui afidabilis sui cuvierts di cjasis e capanons, par vie dal jutori dai contribûts publics. Di fat in Italie, de bande dal Ministeri dal Ambient e des Regjons, e je stade metude in vore une politiche di incentivazion titulade “10.000 cuvierts fotovoltaics” che e sburte la realizazion di implants cun tecnologia fotovoltaiche disore costruzions privadis e publichis. La Regjon Friûl Vignesie Julie e à distribuît incentîfs cul imprest aministratîf dai bants, il prin tal 2001, il secont tal 2003 e il tierç tal 2005. Chel che in di di vuê al è un piçul marcjât tai agns a vignî al cjararà sù une fete simpri plui largje e al varà bisugne di gnovis figuris professionâls. Soredut e coventarà une progjetazion sapontade di un plan di racuelte dai dâts, par meti a disposizion di progjetiscj e produtôrs une prevision di valutazion dai investments plui smicjade. A chestis esigjencis a varan di rispûndi: lis scuclis, lis universitâts, lis bancjis, lis istituzions locâls, ognidun cui sei mieçs e metodis. Il nestri grup, che si à dât il non “Agathos” al sta puartant indenant un progjet didatic di Educazion Sientifiche e Tecnologjiche (ES&T) secont l’implant di azion-ricercje e cu la partecipazion di tecnics e students par meti adun imprescj di prime man che a coventin par studiâ la produzion di energjie eletriche cul fotovoltaic e cun altris fonts di energjie. Il grup al à stabilît dai

---

\* ITI “A. Malignani”, AIF (Associazione pal Insegnament de Fische) Udin, referent dal progjet “Agathos”. Components dal grup di lavôr “Agathos” dal ITI “A. Malignani” di Udin: Roberto Biondi, Rolando Carmassi, Gianpiero De Marchi, Silvano De Rivo, Claudio Giusto, Paolo Modotto, Rodolfo Moro, Giorgio Pozzetto, Gildo Solari, Giancarlo Toso.

Traduzion talian/furlan: Pauli Cantarut.

acuardis ancje cun istituzions di ricercje, universitâts, scuelis e aziendis privadis, e cualchidun dai components al puarte indenant consulencis pai Ents Locâi e pes aziendis che a metin in vore implants fotovoltaics. L'obietîf al è chel di meti in rêl la Scuele e furnî servizis didatics par inressi la educazion sientifiche e tecnologjiche. In chest articul si discutin i prins risultâts di cheste tecnologjie, ancje in considerazion des problematichis ancjemò di distrigâ, sedi sot dal aspjet sientific che di chel tecnic e economic, cirint di meti in evidence i valôrs dal ambient naturâl, de salût e dal sparagn energjetic.

**Peraulis clâf.** Proprietâts eletrichis intai solits, efiet fotovoltaic, comissuris P-N, piastrele FV, imprescj di ES&T, implant FV colegât in rêl e a isule, eletrons, busis, potence nominâl, eficience, garis publichis, sparagn energjetic.

**Introduzion.** La tecnologjie fotovoltaiche e considere il cussì clamât efiet fotovoltaic. Par meti in vore un dispositîf eficient par produci eletricitât di une font fotovoltaiche (di chi indenant FV) si son dâts da fâ une schirie di sienzis e tecnolics. Dal lavôr dai storicis – che a àn la particolaritât di fermâsi su datis e nons par spiegâ il disvilup storic o, plui in gjenerâl, il sburt indenant tal cjamp des cognossincis sientifichis e de inovazion tecnologjiche – o vin sielzût i nons plui considerâts inte divulgazion sientifiche e lis datis plui significativis.

Si pues dî che il pont di partence da lis ricerccis des fonts di energjie eletriche da la materie al à un non e une date: Alessandro Volta, 1799. Il sienzist di Como al scriveve intune letare indreçade a Sir Joseph Banks, President de Societât Reâl di Londre, ai 20 di març dal 1800, di vê costruît intal 1799, un “argagn eletric artificiâl”<sup>1</sup>. Te letare, scrite par francês ma publicade par inglês, si conte di cheste pile eletriche che e imite l’“organe électrique naturel” de torpedin e dal ginnmoto. La rivoluzionarie prestazion di chest argagn e consisteve inte produzion costante di corint eletriche cence la dibisugne di cjariis e sorecjariis par produci l’efiet.

Chest argagn, par vie de sô forme, al ven clamât “appareil à colonne”, di chi la peraule moderne pile eletriche. Un esemplâr al è stât costruît tal 1999, intai laboratoris dal ITI “A. Malignani” di Udin, in ocasion dal bicentenari (Foto 0.1).

O varin di spietâ il 1839 par che Edmund Bequerel<sup>2</sup> al scuvierzi par câs un efiet fotoelectric, cuant che la lûs e bat cuintri un dai doi eletrodîs, metûts intune soluzion eletrolitiche, di une pile di Volta. Tal imprim, la scuvierte di

Bequerel no veve puartât nissun disvilup tecnologjic, di fat no si saveve nancje cemût spiegâ il curiôs fenomen. La cuestion e à tacât a cjapâ une altre plee quant che a son stadis scuviertis lis proprietâts eletrichis dal seleni cristalin. I prins experiments a son dal 1873, quant che l'elettricist american Willoughby Smith, a cjâf dal progjet par meti jù la prime cuarde telegrafiche di une rive a chê altre

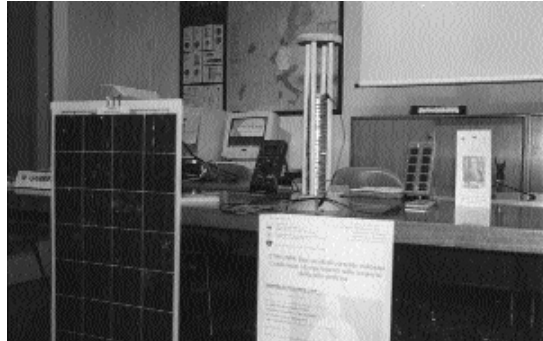


Foto 0.1. “Da la pile elettriche a la piastrele fotovoltaiche”. Conference al ITI “A. Malignani” di Udin, inte suaze dal Seminari “1799-1999: doi seculi di corint continue – conferencis e experiments su la discuvierte da la pile elettriche”, organizât dal AIF di Udin.

dal Ocean Atlantic, al ven a scuvierzi par câs (pe seconde volte il câs al jentre tal cjamp des scuviertis sientifichis dal stes fenomen) che il seleni al funzionave ben vie pal di ma no di gnot. I experiments cul seleni a son stâts puartâts indenant di doi inglês, G. Adams e R.E. Day. Il prin panel fotoelettric al è stât preparât di C. Fritts di New York che al à vût la idee sflandorose di sierâ une lastre di seleni jenfri dôs lastris di metal e un sfuei sutîl di aur. La invenzion e jere stade considerade ben, tant che une pussibile font di energjie elettriche, ma in chei agns nissun al rivave a capî sientifichemetri il fenomen. Cun di plui, la scuvierte e someave no vê nuie ce fâ cu la teorie di Volta. Al sarès coventât un om di gjeni par mostrâ une strade gnove, Einstein. L'om che i eletriciscj solârs a spietavin si è presentât cuntun articul publicât intal 1905, là che si considere la lûs tant che un insiem di parteselis cuantizadis, clamadis fotons, cu la proprietât di meti in moviment lis cjaris eletrichis une a une<sup>3</sup>.

A chest pont, cjatadis lis leçs fisichis e fatis lis invenziions si tratave di meti adun lis robis. Il seleni nol jere une buine soluzion tecnologjiche par vie de sô basse eficienze (a pene l'1% de energjie solâr si rivave a trasformâle in energjie elettriche). O varîn di spietâ la scuvierte dal transistor, di J. Bardeen, W. Shokley e W. Brattain intal 1948, par che i tecnolics a vedin a disposizion une base tecnologjiche par miorâ i risultâts: il “diodi”<sup>4</sup>. Il prin diodi FV o piastrele fotovoltaiche, al ven metût adun di C. Fuller e G. Pearson tai La-

boratoris Bell intal 1954. In di di vuê il progrès tecnologjic nus permet di sperimentâ piastrelis FV cuntune eficiencia che e je dongje ai confins fisics permetûts di chest gjenar di fenomen.

Cognossi il funzionament di un gjeneradôr FV e dal implant eletric che al permet la sô utilizazion, al domande doi modei di spiegazion de conduzion da la corint eletriche intai materiâi: il model classic (ram, arint, alumin e altris materiâi) e il model cuantistic intai semicondutôrs (cristai di silici drogât intal stât amorfi, policristalin e monocristalin). In chest contribût o fasarin di mancûl di cjapâ in considerazion altris tecnologjiis, ven a stâi lis piastrelis a film sutîl o biologjichis, tignint cont de lôr basse eficiencia. Obietîf de nestre ricercje al è, tignût cont dal interès didatic, dal disvilup di cheste tecnologjie e des aplicazions inzegneristichis, chel di stimolâ i studis sientifics e tecnologjics – in particolâr sul efiet fotovoltaic, cun metodis di aprendiment atff, e ançe chel di meti adun lis cognossincis essenziâls sul compuartament eletric dai materiâi inte produzion di energjie eletriche di implants fotovoltaics, e infin chel di cirî i parametris critics che a influencin la produzion di energjie eletriche, proponint soluzions tecnicis miorativis par rindi plui convenient l’investment dai bêçs.

A chest rivuart, prime di presentâ ai students il scheme eletric di un implant fotovoltaic, inte scuele dulà che al jere stât fat un “burlaç di çurviêi” inte ocasion dal bicentenari de scuvierde de pile eletriche, a son stâts costruîts dai argagns di pueste par rindi plui facilis lis operazions par meti adun e par sburtâ la discussion. Cun cheste siele la fisiche dal gjeneradôr FV e je stade dome un plan di discussion mentri che chel altri al consisteve tal “meti lis mans disore” i argagns e cjapâ sù misuris, dentri e fûr de scuele.

Il letôr che al à plui interès dome pai implants FV al pues saltâ i prins doi paragrafs e il cuart par lei chei altris, dulà che si considerin lis carateristichis dai modui e dai implants FV e si metin in lûs lis primis conclusions dal monitoraç di plui implants fotovoltaics, finûts e colaudâts, fats sù cui contribûts de leç de Region Friûl Vignesie Julie, dal 26 di fevrâr dal 2001.

La cognossince ristrete dai argoments di fisiche de conduzion eletriche intai materiâi, lis esperiencis didatichis, i elements di proget, elaborazion e racuelte dai dâts e i aspiets tecnicis e economics a son dividûts in paragrafs, daûr cheste liste:

I argoments di conducibilitât eletriche intai materiâi a son considerâts intai paragrafs 1. *Gjeneralitâts su lis proprietâts eletrichis intai solîts* e 2. *La*

*conducibilitât intai semicondutôrs*. In chescj paragrafs la teorie de condutivitat eletriche intai metai (leç di Ohm) no ven tratade. La principâl leç sui circuits eletrics e ven considerade intun grant numar di libris scuelastics di eletromagnetisim, eletrotecniche e eletroniche, ma pe valutazion dai aspjets inzegneristics si è obleâts a considerâ cierts compuartaments fisics, ven a stâi la conducibilitât eletriche intai metai che a formin lis basis pe comprension de conducibilitât, sedi tai isolants che tai semicondutôrs. Il letôr esigjent al pues consultâ la bibliografie par profundî chescj studis e ricercjis.

Intal paragraf 3. *Lis prestazions di un modul FV* o nin di gnûf a considerâ cualchi element di conducibilitât eletriche intai semicondutôrs, ma cuntun voli plui indreçât su la produzion di energjie eletriche dai modui.

Il paragraf 4. *Il progjet "Agathos": esperiencis didatichis interativis di scienze e tecnologjie* al è un "sfuei di memorie" ator dal lavôr didatic e al è integrât cul paragraf 3.

Il paragraf 5. *Implants FV* al à un caratar divulgatîf. Di fat a esistin une vore di pagjinis web che a mostrin ordenaris schemis di implants eletrics cun particolârs diferents e interessants. Inte ultime part dal paragraf invezit a vegin considerâts i elements di cost dal FV, che a son dificiî di cjatâ inte leterature tecniche di divulgazion.

Intal paragraf 6. *Ilustrazion di implants realizâts cul contribût regionâl (bant 2001)* a vegin presentâts i prins implants realizâts inte Region FVJ, cui contribûts publics e cu la soreintendence dai Ufiscis dai Servizis Tecnicos de Region, che a àn il compit di stâ daûr a lis operations di colaut, di rindicontâ e tirâ sù i dâts de produzion di energjie eletriche produsude o consumade.

Intal paragraf 7. *Presentazion dai risultâts da la produzion FV* a vegin presentâts i risultâts di un lavôr volontari di racuelte dai dâts che a varessin di indreçâ viers une ativitat di ricercje sul territori. Un sburt par contribuî al disvilup di une politiche di sostentament des ricercjis intal cjamp des fonts di energjie no a esauriment, cun obietîfs clârs e mieçs finanziariis di rilêf.

L'ultin paragraf 8. *Prospetivis tecnicis, economicis e politicis di sostegn a la difusion da la tecnologjie FV* al è un rindicont concentrât a rivuart des dificoltâts e des spietativis intal cjamp de tecnologjie FV, a front dal sburt pandût cui bants publics di sostentament.

## **1. Gjeneralitâts su lis proprietâts eletrichis intai solits**

*1.1 Metai, isolants, semicondutôrs*. Si sa che cheste distinzion e ven ricondu-sude, sot l'aspjet microscopic, a lis regulis cuantistichis che a stabilissin ce

mût che i eletrons si distribuissin sui nivei atomici di un atom, e dal pont di viste macroscopic ai valôrs di resistivitât (o conducibilitât) eletriche.

I materiâi che a componin la piastrele FV a partegnin a la classe dai semicondutôrs (no pûrs) anچه se la lôr sembladure e à bisugne di materiâi condutôrs: lis pistis di racuelte des cjariis eletrichis metudis in circolazion de lûs, i contats metalics par fâ scolâ la corint eletriche fûr de piastrele e di isolants, sedi par capsulâ la piastrele FV che par rindile plui resistente a lis pachis e infin pe metode in vore cence dispersions di corint. Par capî la fisiche de piastrele FV si varessin di riclamâ concets e leçs che si son afermâts tal arc di un secul, di cuant che Max Planck<sup>5</sup> al à introdusût la idee che la lûs e ven butade fûr des superficiis dai ogjets cjalts mediant di pacuts di energjie clamâts fotons, o ben quantitâts no ridusibilis di energjie.

E je une leterature sientifiche di rilêf, in formât di test e cul jutori di tecnologjiis multimediâls, che e jude la didatiche di cheste fisiche, ma instès no si puedin platâ lis dificolâtis che si cjatin frontant chest studi. Nol è facil cjatâ modei tal mont macroscopic e fenomens inte vite di ducj i dîs, che a permetin di imbrancâ concets e analogjiis E dut chest ancjemò prin di cjapâ in considerazion il disvilup di un ciert formalisim matematic che al zonte un altri gjenar di dificolâtis se si vûl lâ a font inte comprension di cheste fisiche (par chest si rimande il letôr a la bibliografie).

Tai prossims paragrafs o contarìn invezit dai efjets a nivel microscopic, e che a àn un riscuintri diret a nivel macroscopic cu lis grandecis fisichis fundamentâls par il calcul e la misure de produzion di energjie. Si fermarìn su parametrîs e leçs fisichis che a derivin di une riflession essenziâl su la conduzion eletriche intai materiâi, finalizade a la valutazion de energjie eletriche produsude cu lis piastrelis FV, in piçui e grancj sistemis, destinâts a disvilupâ une gnove gjenerazion localizade de produzion di energjie eletriche.

## **2. La conducibilitât intai semicondutôrs**

*2.1 Semicondutôrs pûrs o intrinsics.* I semicondutôrs a presentin dôs diferecncis di fonde cui metai. Se si apliche un cjamp eletric a un toc di materiâl semicondutôr, si misure une condutivitât eletriche une vore basse o, par contrari, une resistivitât alte, une vore plui alte che tai metai. Cundi plui la incressite de temperadure, a diference dai metai, e prodûs une diminuzion

de resistivitât e une incesitate de conductivitât. Par un ciert viers, justificât des scuiertis de “fisiche moderne” (...la fisiche dal XX secul!), i semicondutôrs a son isolants “no complets”. Di fat a la temperadure di zero assolût, isolants e semicondutôrs a àn lis midiesimis proprietâts eletrichis. Inte epoche de lôr discuierte, i tecnolics e i sienziâts no savevin ben ce aplicazions fâ di lôr. Parfin in dì di vuê, intune ete tecnogjichementri madure, sienziâts e tecnolics no son in grât di proviodi lis aplicazions de ricercje di base.

Dispès anje intal ambit sientific, scuiertis fatis in altris cjamps de ricercje a puedin puartâ a “consecuencis no proviodudis” anje tal cjamp di interès. La storie dal disvilup de tecnogjie FV e à ce fâ cu la “consecuence no spietade” di une ricercje che e veve altris obietîfs.

Al è plui tart, tor la fin de prime metât dal secul passât, che e tache a disvilupâsi la industrie eletroniche. Un cjamp che al prometeve une vore al je chel de elaborazion eletriche dai segnâi, intai sistemis automatics di calcul. La ricercje di dispositîfs svelts e afidabii pal tratament dai segnâi eletrics, al puest dai dispositîfs eletromecanics, e à puartât un grop di sienziâts a studiâ lis proprietâts eletrichis dai semicondutôrs. Il materiâl semicondutôr che al si rivele plui interessant pes prospetivis de industrie eletroniche al è il silici (simbul chimic  $Si$ ), un dai elements chimics plui bondants in nature. Il silici, che al somee al gjermani, al è un element dal grop IV de taule periodiche dai elements ( $Z = 14$ ), solit e di colôr che al va dal grîs al grîs-blû. Al à une brillantece metaliche e une densitât specifiche di 2,42. Al è dût e brilant, si disfe a 1412 °C e al reagjìs chimichementri. Si cjate intai minerâi (ossits, silicâts) e il procès di riduzion al ven fat intun for eletric cul cjarbon a temperaduris superiôrs ai 1500 °C, come risultât si à silici di purece ator dal 98%.

La inzegnose pensade par otignî une alte incesitate de conducibilitât eletriche tal  $Si$  pûr e je stade chê di meti dentri intal cristal, cun tecnichis particolârs, une sostanze chimichementri prossime inte taule periodiche dai elements. Un semicondutôr cussì tratât al ven clamât anje “drogât” o “impûr”. Se un di chescj strâts di cristal di  $Si$  al è drogât cun sostancis pentavalentis al devente un puartadôr di cjariis  $N$  ( $Si-n$ ), se invezit al ven drogât cun sostancis trivalentis al devente puartadôr di cjariis  $P$  ( $Si-p$ ). I puartadôrs di cjariis  $N$  a son i *eletrons*, chei di cjariis  $P$  a son clamadis *busis* e a son cjariis positivis. Lis busis no son des veris cjariis eletrichis ma il mecanisim di

conduzion eletriche che in chest strât di cristal si displee al ven, come se tal materiâl si movessin, invezit dai eletrons, cjariis positivis tal viers ledrôs.

**2.2 La commissure P-N.** Se doi strâts di semicondutôrs dal gjenar P e N, no polarizâts dal di fûr, a vegnin metûts dongje, i puartadôrs di cjarie dai doi strâts si spandin, come che al sucêt cuant che si met in comunicazion doi volums di gas o licuits cun diferente densitât. Une part dai eletrons libars dal materiâl de zone N si spant zontra viers la commissure P-N e si ricumbinin cu lis busis dentri des fressuris dal cristal inte zone dal materiâl P; inte stesse maniere une part des busis intal materiâl P si spandin intal viers contrari e si ricumbinin cui eletrons libars jenfri lis fressuris dal cristal de sorte N. Chescj puartadôrs di cjarie, eletrons dal strât N e busis dal strât P, a son clamâts *puartadôrs maioritaris* parcè che a divegnin da lis impuritâts: donadôrs intal strât N e acetôrs in chel P. In cheste maniere, in prossimitât de commissure, a vegnin a formâsi doi strâts svuedâts di cjarie eletriche: negative inte region P e positive inte region N. Ven a stâi che tal materiâl P si manifeste une debule cjarie negative e intal materiâl N une debule cjarie positive (viôt Figure 2.2.1). In chest “strât di transizion” o “strât svuedât”, dulà che a mancjin puartadôrs libars di movisi, al ven a stabilîsi un cjamp eletric di mût che nissun puartadôr di cjarie maioritari al pues traversâle. Come risultât di cheste ricumbinazion si ven a vê une “baridure di potenziâl eletric” o ben une “intensitât di cjamp eletric” zontra viers la commissure P-N. Chest cjamp eletric al è intrinsic a la commissure P-N e al corispuint a une sorte di “ecuilibri termodinamic” jenfri il semicondutôr. La commissure P-N e ven ancje clamade “diodi” (viôt Foto 2.1).

Sot chest aspjet si avvicin al pinsîr di Alessandro Volta che al spiegave la

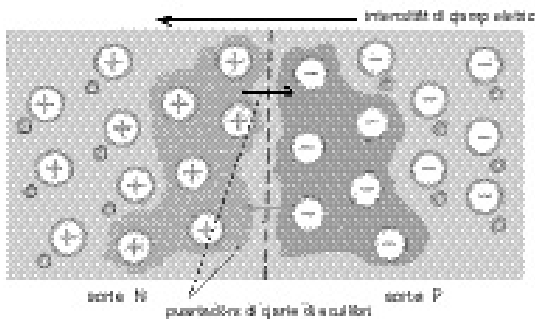


Figure 2.2.1. Distribuzion spaziâl di cjarie eletriche inte commissure.

produzion di corint eletriche continue inte sô pile sostignint la esistence di un “impuls continuatîf”, “azion” o “moviment” dal “flus eletric” causât di une pile eletriche come efiet di une “fuarce di eletromozion” a sô volte causade di “...il sôl contat fra sostancis condutivis di diferente



sorte". La diference sostanziâl cu la pile elettriche e consist inte sostituzion di doi metai chimichementri diferents (come il zinc e il ram) cun doi strâts di semicondutôrs de sorte N e P, cun diferentis densitâts di drogaç.

Une altre diference sostanziâl cu la pile elettriche, che no à une spiegazion intai tiermins classics, si à tal moment che si cîr, cuntun strument, di rilevâ corints elettrichis. Inte pile elettriche, il discuilibri eletric inte zone di separazion fra i doi metai, al

manten une corint elettriche, nete di eletrons e che scole fra il + e il - se lis polaritâts a vegnin metudis in contat cuntun fil condutôr<sup>6</sup>. Al contrari, tal câs de comisure P-N, pûr sierant il circuit, no si cjate une significative circolazion di corint. Tal circuit esterni di une comisure P-N une corint si oten in dôs manieris: a) *polarizant il diodi cuntune tension elettriche esterne*; b) *esponintlu a la lûs*.

Prime di considerâ il procès fundamentâl che al permet a une comisure P-N (une piastrele solâr) di convertî la energie radiant de lûs in elettricitât, o fasin un riclam plui profundît al compartament eletric des comisuris.

A temperature ambient, tal semicondutôr e va indenant la produzion di eletrons e di busis cul disfâsi dai leams covalents, par vie de agitazion termiche. Chesj puartadôrs intrinsics di cjarie, clamâts *puartadôrs minoritaris*, a son favorîts dal cjamp eletric e a traviersin la comisure, i eletrons di P a N e lis busis inte direzion contrarie. In efiet i puartadôrs maioritaris presints intai doi materiâi a tindin a spandisi zontraviers la comisure, sburtâts de diminuzion dal cjamp eletric produsût dai puartadôrs minoritaris, ma la corint che a tindin a formâ e je ostacolade dal cjamp eletric che al pare indaûr i eletrons che a vegnin de zone N e lis busis de zone P. Tal ecuilibri, la corint nete che e traverse la comisure e je invalide.

Cheste situazion si descrîf miôr doprant concets cuantistics. Daspò il contat fra lis regions P e N, i *nivei di Fermi*<sup>7</sup> tai doi semicondutôrs a àn di puartâsi al stes nivel  $E_F$  in dut il semicondutôr. Par tant, lis fassis di conduzion e di valence de region P a inressin di energie rispjet ae region N di

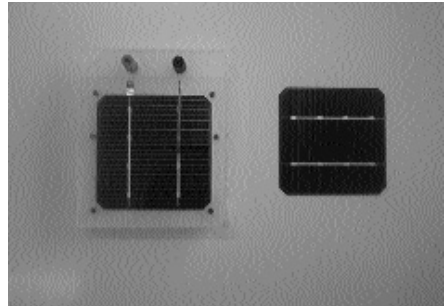


Foto 2.1. Piastrelis fotovoltaichis (semblade e svistude) intai laboratoris dal ITI "A. Malignani". Par concession de dite *Masotti Energy Service Company* di Udin.

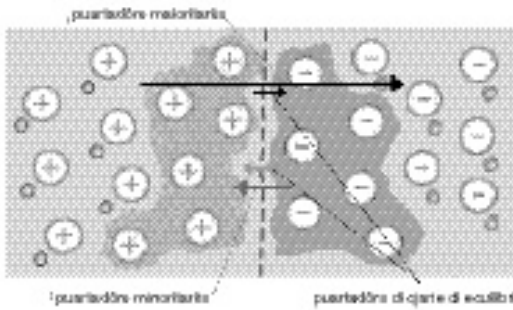


Figure 2.2.2. Comissure P-N polarizade diretementi.

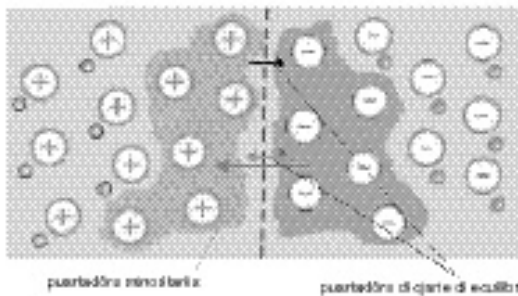


Figure 2.2.3. Comissure P-N polarizade inviersementi.

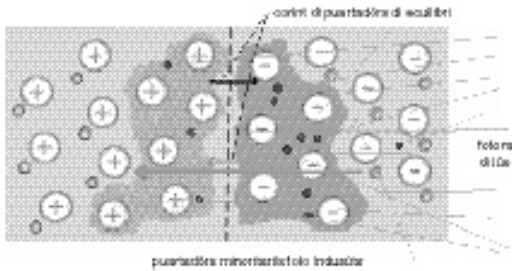


Figure 2.2.4. Comissure foto ionizade (piastrele FV).

vierse, che a paronin di gran lungje sul numar di puartadôrs di minorance che a son di origine termiche. In cheste condizion la comissure P-N si dîs *polarizade diretementi*.

Cuant che la comissure e je polarizade su la stesse tension ma in maniere contrarie, cu la polaritât + viers P e la polaritât - su N, alore si à une in-cressite dal potenziâl di baridure ( $V > V_0$ ) e il nivel di Fermi si sposte plui distant de fase di conduzion. Il risultât al è chel di une fuarte diminuzion

une cuantitât  $qV_0$  ( $V_0$  potenziâl di contat o baridure di potenziâl) che, par un dât semicondutôr e à une temperature fissade, e dipent da la posizion dai nivei di Fermi rispjet a lis dôs fassis, e duncje dai nivei di drogaç intes dôs regions, prime de formazion de comissure. In cheste condizion, la corint di eletrons e di busis (puartadôrs maioritaris) di P a N e ven compensade a la svelte dal moviment des busis e dai eletrons (puartadôrs minoritaris) di N a P.

Se si supon di polarizâ cuntun generadôr esterni la comissure cul + viers la region P e il - viers la region N negative, la baridure di potenziâl e ven ridusude ( $V < V_0$ ) e il nivel di Fermi si sposte plui dongje de fase di conduzion. Tant che consequence si à un numar maiôr di puartadôrs maioritaris e che a scolin di P a N e vice-

(esponenziâl) dal flus di quartadôrs di maiorance mentri che chei di minorance, pal plui di origine termiche, no vegnin influençâts. In cheste condition la comissure si dîs *polarizade inviersementri*<sup>8</sup>.

Intai doi câs si à che: se la comissure e je polarizade diretementi si à une fuarte incressite di corint di eletrons intal circuit esternî mentri che si à une corint di pôc cont se la comissure e je stade polarizade inviersementri. Chest compuartament fûr dal normâl (ven a stâi no ohmic) al è une vore util intes aplicacions inzegneristichis<sup>9</sup>.

La difference sostanzial fra la piastrele FV, clamade ancje fotodiodi, e il normâl diodi si à inte cualitât di “eletromozion” che e fuarce la corint intai circuits esternis. Tal diodi normâl il “motôr” al è la “tension di polarizazion direte” che e ven imponude dal di fûr mentri che inte piastrele FV il “sburt” a produci flus al è chel di une sorte di “ggeneradôr di corint” alimentât da la iradiazion dai fotons di lûs che e bat cuintri la superficie dal diodi. (Viôt lis Figuris 2.2.2, 2.2.3, 2.2.4).

*2.3 L'efiet fotovoltaic.* La discuierte de pile eletriche e je stade l'esit di une fertilizazion fra la fisiche e lis sciencis de vite. Come che al è stât dit inte introduzion, la discuierte di Volta e à rindût disponibile pe prime volte une corint costante par efiet di une “eletromozion” o, in tiermins di vuê, une difference di potenzial eletric.

La teorie di Volta si è rivelade produtive ancje se no jere fondade su la ipotesî corpuscolâr o atomiche de elettricitât in sens moderni. Une idee nasude tal secul caraterizât di concets tant che “cognossince doprabile” e “misurabilitât des grandecis imponderabilis”, inte etât dai lums e sot de influence de teorie di Newton su la azion des fuarcis a distance. La pile si pues ben definî tant che un ogjet paradossâl: plen di sostrât scientific e par di tecnologia. Par interpretâ l'efiet fotovoltaic e par costruî il miracul tecnologjic de piastrele FV e je coventade une incressite stupefacent dai concets scientifics ma ancje une tecnologia costruide su gnûfs e rivoluzionaris concets fisics.

Tal paragraf precedent o vin menzonade la ipotesî di Planck su la emission di “grignei” di energie clamâts fotons da lis superficiis scjaldadis dai cuarps. Cheste idee di emission par “cuants” o pacuts di energie no je in conflit cul model ondulatori di propagazion de lûs ma, tal 1905, Einstein al stupì il mont scientific sostignint la ipotesî che la lûs e fos formade di fotons ancje dilunc de sô propagazion intal spazi. In altris peraulis *la energie de lûs*

*no je cuantizade dome cuant che e interagîs cu la materie ma par sô nature.* La teorie dai cuants di lûs e spieghe in mût brillant l'efiet fotoeletic. Inte emission di eletrons par efiet fotoeletic i fotons di lûs a furnissin la energjie suficiente ai eletrons par vignî fûr da la materie, compagn di ce che al sucêt tal efiet termoionic. Chest si à se la minime energjie domandade dai eletrons par vignî fûr da la superficie dal materiâl e je pâr a  $E = h \cdot \nu$  ( $h = 6,67 \cdot 10^{-34} \text{ j} \cdot \text{s}$ ),  $\nu$  frequence de lûs e par superficiis ideâls dulà che il lavôr di estrazion al è inesistent.

Chest model di propagazion de lûs al ven a spiegâ parcè che e esist une suee di frequence e parcè che la intensitât di corint di eletrons emetûts de superficie dal metal, considerant il potenziâl di estrazion diferent di zero, e dipent da la frequence e da la intensitât di radiazion e nol dipent dome da la intensitât.

Chest concet si pues dibot slargjâ al fenomen che si ven a produci cuant che i fotons a jentrin dentri te comissure dai semicondutôrs ma cun cualchi precisazion se si confronte il fenomen cul efiet termoionic. Se la frequence de radiazion e je avonde, ven a stâi che la energjie asociade al foton e je plui grande dal salt de fasse proibide fra il limit superiôr de fasse di valence e il limit inferiôr de fasse di conduzion, alore la radiazion e ven assorbide dal solit<sup>10</sup>. Cuant che si cree une cubie buse/eletron si forme ancje un ion negatîf/positîf. I fotons che a puedin produci efiet di "ionizazion" dentri dal semicondutôr a cuvierzin dut il spettri che al va dal liminâr dal infraros, passant pal violet fin ai rais X e oltri (Figure 2.3.1).

Se si associe a ogni frequence un foton di energjie  $E = h\nu$  o varin di meti in cont che al rivi adora a "liberâ" un eletron, simpri che la energjie e sedi suficiente a superâ un ciert salt di fasse, tipic dal semicondutôr doprât. I fotons ionizants che a jentrin tal semicondutôr dongje a la comissure a son i plui fertii parcè che lis cubiis eletron/buse a àn buinis probabilitâts di no ricumbinâsi prime di rivâ a la gridele di racuelte. Lis cubiis eletrons/busis che a saltin fûr a inressin une vore l'ordin di grandece tai puartadôrs di minorance, invezit i puartadôrs di maiorance a restin te sostance compagns, parcè che lis sostancis donadoris e acetadoris a àn bielzà cedût il lôr eletron e la lôr buse<sup>11</sup>. Inte Figure 2.3.2 la lûs e bat su la fasse P e chest al vûl dî che il nivel di Fermi si sposte plui dongje de fasse di valence. Lis cjariis minoritariis fotoindusudis a son in ecès su la normâl concentrazion di ecuilibri e si sparnicin a la svelte zonztraviers la baridure di potenziâl. Se la piastrele FV e

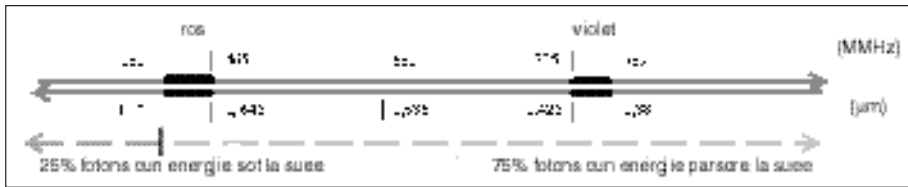


Figure 2.3.1. Spettri di radiazione.

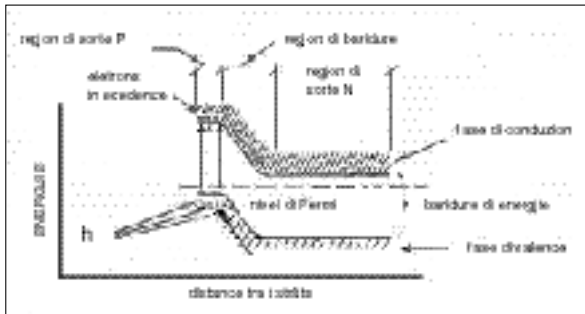


Figure 2.3.2. La conduzion intal foto diodi (piastrele FV) secont il model cuantistic a fassis.

je colgade a un caric elettric, une fuerte corint elettriche di quartadôrs di minorance e travierse la comissure e di consequence une ancjetant fuerte corint di eletrons e travierse il caric. Par risultât si varà une grande incessoite de corint elettriche intal circuit esterni. Ma al è un altri aspjet une vore impuartant che al covente rimarcâ parcè che al segne une difference radicâl di compartament jenfri la piastrele FV e il diodi: mentri che tal funzionament de comissure dal diodi polarizât diretamenti, la corint dentry de piastrele FV e va di P a N (corint direte), tal funzionament tant che piastrele FV la corint e va al contrari di N a P (corint invierse). Tal circuit esterni nol cambie nuie parcè che o vin ce fâ simpri cu la corint di eletrons, ven a stâi cun tuncione tension sul caric elettric come che la zontadure e fos polarizade diretamenti ma cun polaritâts sui contats di segn contrari.

Dôs peraulis sul funzionament di vuetit a cjariât. Fin tant che la piastrele FV no buris fûr corint elettriche, la tension e je chês di comissure e lis dôs corints di quartadôrs minoritaris e maioritaris a son in ecuilibri. Dal moment che si siere il circuit, e la piastrele FV e buris fûr corint elettriche, si à une colade di tension elettriche sui contats de piastrele cul circuit esterni. Se vie pal funzionament la intensitât de lûs e varie si à une cuasi proporzionâl variazion di corint elettriche (Figure 3.1.1). Ven a stâi che ce che al vâl pe pia-

strele FV al vâl ancje pal modul FV come che al vignarà marcât tal paragraf plui indenant. A front dal compuartament dal diodi polarizât la piastrele FV e presente une marcade diference di cuantitât par chel che al inten la variazion de tension sui contats eletrics (o la tension di caric) in temperadure.

Cuant che si fevele di corint eletriche intai materiâi ognidun si spiete di fâ i conts cu la dipendence des proprietâts eletrichis dai semicondutôrs in temperadure, e la piastrele FV no fâs ecezion. Une inressite di temperadure e puarte cuasi simpri intai semicondutôrs a une inressite di corint ma ancje, al contrari, a une diminuzion di tension sul caric electric.

La variazion di tension plui grande che si ven a vê inte piastrele FV in confront al diodi normâl e je causade dal fat che la inressite dai puartadôrs di cjarie, soledut minoritarie, e incît pôc sul totâl de corint eletriche e che, se la intensitât de lûs e je fuarte, e incît pôc sul totâl de corint che e je di un valôr alt. Di chê altre bande invezit si cjate un risultât di segn contrari se o considerèn la tension sul caric electric. A une inressite de temperadure de commissure si à une inressite de resistence eletriche a la circolazion de corint dentri de piastrele FV, cul risultât che sul caric si cjate une fuarte diminuzion di tension. Metint plui a fûc il concet o disîn che a front dal diodi normâl inte piastrele FV, la diminuzion di tension sul caric electric e parone la inressite limitade de corint di puartadôrs, soledut minoritaris. Rivant a la conclusion che tal utilizadôr e je une fuarte diminuzion di potence eletriche. Chest risultât al à fuartis consecuencis in tiermins di eficiencie di conversion di un implant FV.

*2.4 Considerazions su la eficiencie di une piastrele FV.* Une teorie di sucès, o ben confermade dai risultâts di laboratori, no prodûs automaticamentri un disvilup tecnologic che al justifici la produzion di scjale industriâl. La storie dal disvilup de tecnologjie FV e je stade avonde propizie. Tor i agns cincuant un grop di pionîrs coragiôs al à metût adun sofisticadis technichis pe difusion di impuritâts tal Si cristalin in mût di formâ inte zone di commissure une baridure di potenziâl. Chest al pues sucedi in tantis manieris, in chest articul o din une cjalade a dôs di lôr: la prime e consist intal deposit par evaporazion o sborfament di un convenient strât di metal trasparent a la lûs, su la superficie di un semicondutôr; la seconde – la plui doprade dai agns sessante – e consist inte formazion de commissure P-N suntune sole fete di silici in ambients a alte temperadure (1200 °C) (procès epitassiâl). Il strât dal “wafer”, esponût a la lûs al è plui fin di chel altri par favorî la penetrazion

dai fotons dentri dal materiâl e evitâ la ricombinazion prime di rivâ ai contats metalics di racuelte<sup>12</sup>.

La plui part des piastrelis FV che a formin un modul (clamât ancje panel) a son fatis cun fassis di Si mono o policristalin: di consecunce lis considerazions che o fasin in chest lavôr si riferissin a la tecnologjie dal Si cristalin. Il procès di produzion dal monocristal di Si par rigjavâ lis piastrelis al è pluitost costôs<sup>13</sup>. Intun modul la piastrele FV e risulte incapsulade e in presince di lûs si à il procès di conversion di potence radiant  $I_r$  ( $Wm^{-2}$ ) in energie elettriche  $W$  (Wh).

Il spetri di lûs fûr de atmosfere de Tere al risulte sedi similâr al spetri di cuarp neri a la temperadure di 5760 K. Da la leç di Stefan Boltzmann e ven calcolade une potence di  $1353 Wm^{-2}$ . Cheste intensitât e ven indicade cul nivel AM0 (Air Mass 0). A nivel dal mâr AM1,5 la atmosfere e assorbìs cirche 350 W, riferît a la intensitât di radiazion massime di  $1000 Wm^{-2}$ . Il profil frastaiât dal spetri di radiazion al è chel de Figure 2.4.1, dulâ che il spetri carateristic di emission di un cuarp neri otignût in laboratori al presente une curve continue arossimade da la leç di Planck.

Par confrontâ la produtivitât des piastrelis FV si à di riferîsi a la *eficienze*, ven a stâi la frazion di energie radiant solâr convertide in energie elettriche. Se o cjalin cumò la Figure 2.3.1 si dedûs che in teorie si varès di rivâ adore a convertî il 75% de lûs in energie elettriche. Purtrop, il surplus di energie dai fotons nol prodûs gnovis cubiis ma, pe plui part, si trasforme in calôr. Oltri a cheste pierdite di energie in calôr, si zontin altris causis che a ridusin ancjemò di plui la eficiencia dal procès di conversion fotovoltaic.

La eficiencia di conversion e dipent da lis proprietâts dal materiâl che o nin a doprâ, e se o doprìn piastrele di Si poli o monocristalin, il valôr al varie dal 12% al 17%. Il limit di eficiencia FV che al va oltri il limit fisic leât al fenomen fotoelectric al dipent dal particulâr procès tecnologic di costruzion da la piastrele FV.

I fatôrs plui impuartants che a limitin la eficiencia a son:

- fotons che a produsin cubiis

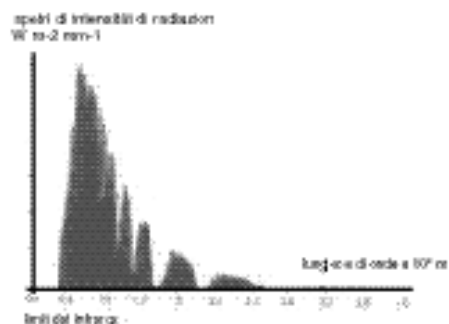


Figure 2.4.1. Spetri solâr.

eletrons/busis di energjie plui grande di chê che e covente ( $E > E_g$ ), invezit di produci gnovis cubiis eletrons/busis a produsin calôr;

- part dai fotons a produsin cubiis eletrons/busis distants de comissure P-N e duncje si ricumbinin;
- part dai fotons a vegnin rifletûts;
- part dal flus di corint elettriche dentri de piastrele al prodûs calôr;
- part dai eletrons a pierdin energjie dentri de piastrele par vie des trussadis cuintri i ions dal cristal.

O volaressin cumò pandi cualchi considerazion su la eficiencie di un dai parametris plui “popolârs” de piastrele FV. La espression dal valôr massim di eficiencie di conversion di une piastrele FV e je:

$$\eta_{\max} = K \cdot (\lambda \cdot V_{\text{mp}} / (1 + \lambda \cdot V_{\text{mp}})) (n_{\text{ph}} \cdot (E_g) \cdot V_{\text{mp}} / (N_{\text{ph}} \cdot E_{\text{av}}))^{14}$$

$K$  costante dipendente dai coeficients di riflessione e di conversion;

$V_{\text{mp}}$  tension a la massime potence;

$\lambda = e/k \cdot T$ ;  $k$  costante di Boltzmann<sup>15</sup>, e cjarie dal eletron o buse<sup>16</sup>,  $T$  temperature di valôr assolât;

$n_{\text{ph}}(E_g)$  numar di fotons che a produsin cubiis busis/eletron intun semicondûtôr cun energjie di fasse proibide  $E_g$ ;

$N_{\text{ph}} \cdot E_{\text{av}}$  energjie incidente cun  $N_{\text{ph}}$  numar di fotons incidents di energjie medie  $E_{\text{av}}$  in eV.

Stant che  $K \approx 1$  e  $\lambda \cdot V_{\text{mp}} \gg 1$  la ecuazion si scrîf:

$$\eta_{\max} \approx n_{\text{ph}}(E_g) \cdot V_{\text{mp}} / (N_{\text{ph}} \cdot E_{\text{av}})$$

considerât che  $n_{\text{ph}} \approx 2/3 N_{\text{ph}}$  e  $V_{\text{mp}} \approx 1/3 E_{\text{av}}$  si oten un valôr percentuâl dongje al 22%.

Une interessante estension di cheste conclusion si à se o considerin une radiazion monocromatiche di energjie compagne dal salt di fasse. Par esempi se  $n_{\text{ph}} = N_{\text{ph}}$  e  $V_{\text{m}} \approx 2/3 E_{\text{av}}$  alore la eficiencie e rive al 75%. Ma in chest câs si pierd dut ce che al reste dal spetri di radiazion.

Cu la finalitât di miorâ la eficiencie dal Si cristalin si va indenant cu la incressite da lis cualitâts des lavorazions (miôr superficiis captantis, automazions, trataments chimics e v.i.) e soluzions tecnologjichis gnovis, come l’incassament dai contats par ridusi lis ombris, lis eterozunturis e i concentradôrs. In di di vuê chescj filons di ricercje a son ancjemò atîfs ma no àn produsût beneficis in tiermins di coscj competitîfs cu lis tradizionâls piastrele FV. Su cheste strade al somee difcil superâ il midâl dal 40% di efi-



ciene. Lis prospetivis di superâ i limits dal Si cristalin intai procès di conversion lûs-eletricitât a son leadis ai gnûfs concets tecnologjics che si stan disvilupant tai principâi laboratoris mondiâi, soledut intai Paîs che a àn pontât une vore su lis fonts rignuvibilis (Gjermanie, Gjapon). Intes aplicacions spaziâls si doprin materiâi diferents dal Si, disponûts intai strâts par podê cjapâ sù la lûs in maniere seletive (come che al sucêt tes piastrelis FV, *amorfis e a triple commissure*, za sperimentadis e che si cjatin in cumierç). Un altri concet tecnologjic di grant interès al è chel de conversion fotoniche: strâts di diviers materiâi metûts denant e daûr des piastrelis, a ridusin o a incressin la lungjece di onde dai fotons incidents (cussì dut il spetri di radiazion di cuarp neri al ven doprât), cence pierditi di energiele. Chê altre grande aree e je peade al disvilup di piastrelis a base polimeriche organiche, dulà che la lûs e met adun dai puartadôrs eletrics che intun timp curtissim a vegnin convoiats su recetôrs seletîfs e sui circuits utilizadôrs. A ogni mût, in di di vuê il Si cristalin nol à contindints, soledut pe stabilitât dai materiâi che i produtôrs a rivin a certificâ. Chest al è un fatôr une vore impuartant pai Stâts che a àn adotât politichis di sostentament finanziari e pal marcjât, che al à bisugne di stimâ il sparagn produsût e i tims di riscat dai investimenti.

*2.5 Carateristicis eletrichis di un modul FV.* Il funzionament di un modul FV si pues spiegâ partint de piastrele FV. Cheste e je classificade jenfri i sistemis elementârs liniâr algebrics, par tant l'efiet risultant dal modul al è chel de soreposizion liniâr dai efietis des sengulis piastrelis che a componin il modul. Se o considerin il funzionament di une piastrele FV a caric electric variabil si pues notâ che, dal valôr di tension a vueit ( $V_{oc}$ ) fin ai valôrs prosims a la tension di massime potence ( $V_{pm}$ ), la intensitât de corint eletriche no cambie in maniere sensibile. Chest al vûl dî che a nivel microscopic la corint eletriche e dipent dome dal numar di fotons incidents ( $Wm^{-2}$ ) e no dal valôr dal caric electric (Ohm). La usuâl puartade di corint de commissure  $I_j$  in funzion de tension di polarizazion e je esprimude de ecuazion<sup>17</sup>:

$$I_j = I_o(\exp(eV/(kT))-1) \quad (1)$$

$I_o$  corint di scûr o di saturazion, e *cjarie dal eletron (o buse)*,  $k$  *costante di Boltzmann*.

Inte carateristiche di lûs (in eletrotecniche e je plui citade cul tiermin di carateristiche esterne) de Figure 2.5.1 si considere realistichementri che la corint  $I_{sc}$  e je sù par jù di un ordin di grandece plui intense da la  $I_o$  ( $I_{sc} > 10 I_o$ ).

Considerât che cu la piastrele iluminade,

$$I_{sc} = I + I_j \quad (2)$$

*I corint intal caric eletric  $R_c$ , alore:*

se  $I = 0$  (condizion di vuert) si rigjave da la 2) la massime tension  $V_{max} = V_{oc}$  (“open circuit voltage”) e je dade da la relazion

$$V_{oc} = (kT/e) \ln(I_{sc}/I_o + 1), \quad (3)$$

se  $V = 0$  da la (1) si à  $I_j = 0$  e si oten (2), chel altri pont interessant su la carateristiche  $I_{sc} = I$  (“short circuit current”) ven a stâi la corint di curt circuit.

Inte Figure 2.5.1 il funzionament dal diodi in condizions di lûs al è contemplât tal cuart cuadrant, par un determinât valôr te irradiazion  $I_r$  ( $Wm^{-2}$ ).

Inte leterature tecniche si à preferît traslâ il grafic  $(0, -I_{sc})$  come che o viodarìn tal paragraf 3, scrivint in cont des prestazions di un modul FV. Prime di valutâ i aspjets di funzionament che a orientin il progettist inte stime de produzion di energie eletriche intes condizions di lavôr particulârs dal implant, si fermìn ancjemò cualchi rie su lis carateristichis di un sengul modul FV.

In particolar, par tant che al inten la pratiche implantistiche, i furnidôrs di moduli FV a segnalin chestis grandecis eletrichis in condizions di irradiazion standard di prove (STC *Standard Test Conditions*<sup>18</sup>):

*$I_{sc}$  (short circuit current) corint di curt circuit:* e je la massime corint erogabile da la piastrele. No compromet il bon funzionament de piastrele, anzit e je a pene 5 ÷ 15% superiôr a la corint nominâl;

*$V_{oc}$  (open circuit voltage) tension di circuit viert:* e je la massime tension tai smuarsets de piastrele. Ancje cheste e je di un 15 ÷ 20% superiôr a la tension nominâl;

*$V_{mp}$  (maximum power voltage) tension di massime potence o tension nominâl:* e je la tension dal pont di massime potence  $P_{mp}$  di lavôr de piastrele;

*$I_{mp}$  (maximum power current) corint di massime potence o corint*

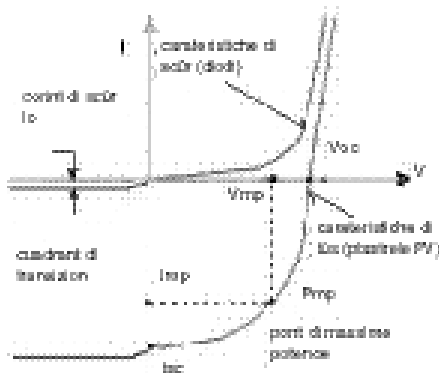


Figure 2.5.1. Carateristiche esterne corint viers tension di une piastrele FV.

*nominâl*: e je la corint di massime potence di lavôr  $P_{mp}$  de piastrele;

$P_{mp}$  (*maximum power*) *massime potence* o *potence nominâl*: e je la masime potence che e pues jessi trasmetude al caric eletric da la piastrele FV, rapresentade dal retangul di aree maiôr sotindût da la curve carateristiche.

Cualchi considerazion utile par valutâ lis prestazions di un modul:

- la corint nominâl  $I_{pm}$  e je prossime a  $I_{sc}$  e normalmentri no je pericolose pal operadôr;
- lis carateristichis ripuartadis su lis schedis tecnichis dai furnidôrs di modui, a vegnin rilevadis in laboratorî cun  $I_r$  costant e a une temperadure costante di riferiment inte piastrele, pûr se intes aplicazions la piastrele e ven esponude a condizions meteo variabilis in intervai ancje une vore luncs;
- in condizions di lavôr si cîr di adatâ il caric eletric  $R_c$  di mût che  $P \approx P_{mp}$ <sup>19</sup>, di mût di otignî la massime potence trasferibile da la piastrele FV al caric eletric;
- il rindiment di une piastrele FV al è une vore alt: e rive adora a trasferî fin al 90% de energie produsude, cuant che une pile eletriche e rive al 50%<sup>20</sup>;
- si rileve ancje une sostanzial proporzionalitât fra  $I_{sc}$  e flus radiant  $I_r$  (viôt la Figure 2.4.2); i) la tension e rive dongje a valôrs di saturazion cun fuartis intensitâts di flus radiant (proprietât domandade intes aplicazions di cjarie di cumuladôrs<sup>21</sup>);
- plui scuadrade e sarâ la carateristiche esterne e plui alte e sarâ la eficienche da la piastrele, o ben la cuantitât di flus radiant convertît in energie eletriche par unitât di superficie ( $P_{mp} \approx V_{oc} \cdot I_{sc}$ ).

### 3. Lis prestazions di un modul FV

3.1 *Il modul FV*. Par solit intun modul si metin adun 36 o 72 piastrelis FV, colegadis in rieste (+ cul –) in mût di rivâ a la  $V_{mp}$  (tension di massime potence) e, considerât che ogni centimetri cuadrât di piastrele FV al trasforme dal 12% al 14% di energie radiant solâr in energie eletriche in condizion STC, la superficie dal modul e ven calcolade par rivâ a la  $I_{mp}$  (corint di massime potence) di stringhe. A chest pont al risulte facil calcolâ la masime potence  $P_{mp}$  moltiplicant i doi fatôrs di tension  $V_{mp}$  e di corint  $I_{mp}$ .

Inte Figure 3.1.1 si descrîf une famee di trê carateristichis di corint  $I(A)$

in funzion da la tension  $V(V)$ , ognidune par une determinade intensitât di energjie radiante  $I_r (Wm^{-2})$ . Se la piastrele (o par estension il modul) e je collegade a un caric eletric e ven individuade une particulâr cubie di coordenadis  $I, V$  e di consequence il caric al impegne la potence  $P = VI (W)$ . Su la carateristiche intermedie riferide a  $I_r = 800 Wm^{-2}$ , al è stât ripuartât il riferiment in coordenadis  $(I_{mp}, V_{mp})$  dal pont di lavôr in corispondence dal zenoli de curve di un particulâr caric eletric.

La valutazion dal compuartament eletric di un modul si pues fâ daûr di un dopli pont di viste.

Prime osservazion: se o cjalin la Figure 3.1.1 o viodìn che il *rapuart  $I_{sc}/I_r$  al à un valôr costant* e la corint  $I$  tal caric eletric si manten costante fin a valôrs prossims al pont di massime potence, come che si viôt ancje inte Figure 3.1.2. Chest risultât al à une spiegazion a nivel microscopic: la intensitât di radiazion e je proporzionâl al numar di fotons ionizants e e prodûs une incescite proporzionâl da la conducibilitât eletriche. Chest efiet al è la consequence de incescite esponenziâl di puartadôrs minoritaris, mentri che la incescite di puartadôrs maioritaris e je in percentuâl pluî basse rispjet al numar totâl di puartadôrs maioritaris tal materiâl, par vie che in gran part a son za puartadôrs libars a la temperadure ambient. In altris peraulis, la creazion di puartadôrs di minorance eletrons/busis e stâ parsore da la produzion di puartadôrs di maiorance. Il risultât macroscopic al è ilustrât di une linie rete, tirade dal pont di corint di curtcircuit  $I_{sc}$  fin al zenoli in prossimitât dal pont di massime potence  $P_{mp}$ . Pal utilizadôr esterni di potence eletriche, il modul FV si compuarte come un gjeneradôr ideâl di corint. Al eroghe une corint costante indipendentementri dal valôr dal caric eletric. Tai implants FV chestis considerazions si adatin a lis circostancis. Tai implants conetûts a la rê publiche, il convertidôr DC/AC (*inverter*) al cîr continuementri il pont di massime potence  $P_{pm}$ , dulà che la intensitât di corint e je di pôc inferiôr a la corint di curtcircuit; par chest il compuartament reâl di un modul FV si svicine cun buine aprossimazion a chel ideâl. Tai implants FV a isule, il pont di lavôr su la carateristiche al dipent dal stât di cjarie des batariis. Un efficient procès di cjarie, cul pont di lavôr a çampe dal pont di massime potence  $P_{pm}$ , al è il risultât di un coret interfaçament fra il modul FV, regladôr di cjarie, e lis batariis di cumulament. Tal paragraf 5. *Tipologjie dai implants FV* a saran ilustrâts un pôcs dai criteris par un coret asset di un implant FV.

Seconde osservazion: si note une *dependance direte de tension di circuit viert  $V_{oc}$  da la intensitat  $I_r$* . Ancje chest efiet al à une spiegazion a nivel microscopic. Se la piastrele no buris fûr corint, i puartadôrs minoritaris a ridusin la largjece de zone di distribuzion spaziâl de cjarie ma cu la consequence di incressi la corint dai puartadôrs maioritaris, in viers contrari e fin a rivâ a un gnûf ecuilibri e a un potenziâl di baridure a vuet  $V_{oc}$  di valôr plui alt. Dal moment che lis piastrele FV che a formin il modul a burissin fûr corint dal circuit esterni, la tension de baridure  $V_{oc}$  e cale par efiet da lis coladis di tension inte gridele e sui contats. Intal funzionament dal modul sul caric electric, la dependance dal potenziâl  $V_{oc}$  de intensitat radiante  $I_r$ , ai fins pratics, si pues corezi e zontâ. Invezit chest efiet di dependance direte da la tension di circuit viert  $V_{oc}$  da la intensitat  $I_r$  al ven utilizât, in cierts inverters inserîts in implants zontâts in rê (viôt il paragraf 5), par tacâsi a la rê di distribuzion dal ENEL cuant che sul cjamp FV e je avonde lûs, ven a stâi superade une suee suficiente di intensitat radiant.

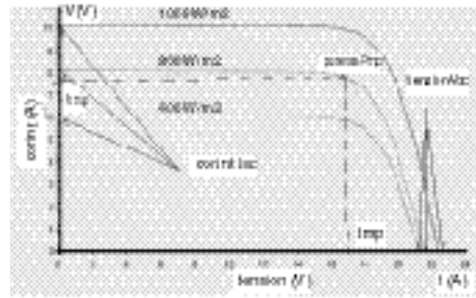


Figure 3.1.1. Variazion di  $I$  viers  $V$  in funzion da la radiazion incidente a une determinade temperadure.

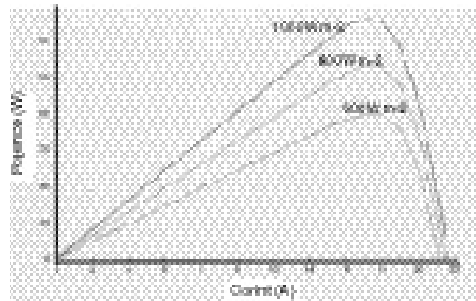


Figure 3.1.2. Curve di variacion de potence  $P$  viers la tension  $V$  in funzion de intensitat de lûs a temperadure costante.

**3.2 Dipendence de corint e de tension da la temperadure.** Il rindiment di un cjamp fotovoltaic al dipent in mût sensibil da la temperadure. Cheste e je une consequence direte da la dipendence a nivel microscopic da la conducibilitât dai solîts semicondutôrs da la temperadure. Mentri che une piastrele FV e dâ fûr corint in mût proporzionâl a la intensitat di radiazion, la tension e cambie cu la temperadure. Ducj i doi i efiet a son descritti inte Figure 3.2.1. Bisugne tignî presint che la temperadure dal modul no je chê dal

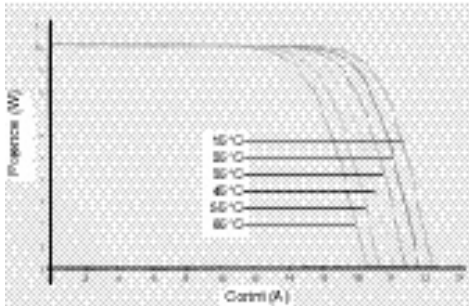


Figure 3.2.1. Dipendence di I viers V in funzion de temperature de piastrele FV a une dade intensitât di radiasion de lûs.

in-cressite di corint ma che no compense la fuarte diminuzion di tension eletri-che, ve a stâi che si à une clare diminuzion di Ppm (viôt la Tabele 3.1 dulà che si à un coeficient positîf di temperature su Isc). Cundiplui, se il modul al la-vore al pont di massime potence Ppm si à ancje une diminuzion in percentuâl di corint Ipm (viôt la Tabele 3.1 dulà che si à un coeficient negatîf di tempe-rature su Ipm). In sumis, la potence scuadrade Voc Isc e diminuîs<sup>22</sup>.

Tal test che al seguîs si da une spiegazion no esaustive dai dâts ripuartâts inte note al nivel microscopic.

Considerìn in prin lûc che nol è pussibil rilevâ cuntune strumentazion eletriche la corint totâl di comissure produsude inte piastrele, par vie da la ricombinazion eletrons/busis ma dome rivâ adore a dedusile indiretementi da la massime corint Isc produsude da la piastrele FV. Lin cumò daûr cual-chi resonament par valutâ cuantitativementri il grât di incidence da la tem-perature su la corint e su la tension.

*Fasìn un prin pas* par cirî i parametris che a nivel microscopicâl a son in-fluencjâts da la temperature. Il model plui a puartade di man par fâ lis ne-stris considerazions al è il model semiclassic clamât “gas di eletrons”. Un si-steme fisic che al rispuint a chest model al considere i eletrons libars di mo-visi fra i ions che a formin il solit cristalin. Tignìn presint che inte piastrele FV i eletrons a son i puartadôrs di cjariis minoritariis. Par rivâ adore a formâ une corint i puartadôrs minoritariis a àn di jessi in grât di traversâ la bari-dure di potenziâl Vo prime di ricombinâsi. Il spazi che un puartadôr di cja-rie minoritari al pues percori al è leât al timp di vite da la stesse cjarie. Se  $\mu$  e je la mobilitât da la cjarie ( $\mu = v_d / E$  cun  $v_d$  velocitât di difusion dai ele-

ambient ma chê de piastrele scjal-dade da la radiasion solâr. La di-ference fra la temperature dal modul e chê dal ambient in condi-zions di caric e dipent da la inten-sitât di radiasion incidente. Cul cressi da la temperature si note une sensibile diminuzion da la tension di Voc (pa la cual ancje di Vmp), mentri che la intensitât di corint e reste praticementri inva-riade. A rigôr si à une piçule in-

trons tal model a gas),  $\tau$  il timp medi di vite e  $E$  la intensitât dal cjamp eletric, il spazi percorût da la cjarie al sarà:  $L = \mu \tau E$ .

Si intuîs che se si vûl otignî une cjarie cuntun timp di vite lunc, o vin di intervignî, a paritât di  $E$ , o su la mobilitât o su la velocitât di difusion; pa la cuâl une valutazion de incidence da la temperadure su la corint e à di passâ zontraviers la analisi di chescj parametris.

Da la ecuazion di Einstein  $V = D / \mu$  ( $D$  costante di difusion,  $V = kT / q$  cun  $k$  costante di Boltzmann), sostituint  $\mu = D / V$  in chê precedente si oten:  $L = (D / V) \tau E$ ; jessint  $E = V/L$  si dedûs  $L = \text{sqrt}(\tau D)$ . La costante di difusion dedusude da la ecuazion di Einstein dopo vê sostituît la mobilitât  $\mu$  e devente:  $D = \mu (kT/q)$ .

Une prime conclusion:  $D$  e je proporzionâl a  $T$  ma stant che  $L$  e dipent da la lidrîs cuadrade di  $D$ , si pues stimâ che la sô variazion cu la temperadure e sedi avonde piçule. Par tant che al rivuarde il timp di vite  $\tau$ , lis considerazions statisticis classicis a puartin a cheste relacion:  $\tau = \tau_0 (1 + \exp((V_t - V_F)/kT)) \approx \tau_0 (V_t \text{ tension di imbolognament e } V_F \text{ nivel di Fermi})$ , par tant cuasi indipendente da la temperadure des variazioms meteo. In conclusion la  $I_{sc}$ , pa lis nestrîs finalitâts, e je indipendente da la temperadure. La teorie e je in acuardi cul andament da la famee di carateristicis de Figure 3.2.1.

Viodin cumò di fâ il *second pas*: la influence da la temperadure su la tension voltaiche de comissure ( $V_{max} = V_{oc}$ ) in condizioms di lûs. Par une comissure ideâl, la espresion de massime tension che si pues otignî intune piastrele FV e je dade di cheste formule:

$$V_{oc} = V_{max} \approx \ln(I_{sc} / I_0 + 1)$$

che e derive da la ecuazion (3) dal paragraf 2 cun  $I = 0$ . Considerât che la corint massime  $I_{sc}$  e je praticementri indipendente da la temperadure,  $V_{oc}$  al sarà inviersementri proporzionâl a la temperadure assolude  $T$  parcè che diretementri proporzionâl al valôr dal logaritmi che o podin prossumâ a  $\ln(C/I_0)$ , (cun  $I_0$  corint di scûr dai puartadôrs di cjarie minoritaris), che e incrès cu la temperadure  $T$ .

In definitive  $V_{oc} \approx \ln(C/I_0)$ , cul argument dal logaritmi che al diminuîs il so valôr se  $T$  al incrès. La conclusion e je in acuardi cui risultâts descritti inte Figure 3.2.1. Come che o viodarîm tal paragraf 5 al è une vore impuar-tant calculâ l'interval di variazion da la tension  $V_{pm}$  in temperadure, soreddut tai implants in rê.

Di seguit si pues viodi un model dai dôts tecnicos, rigjavât da lis tabelis da lis ditis che a furnissin i modui:

Tabele 3.1. Tipologjie: *modul multi o monocristalin*.

Parametris eletrics in condizions standard di prove (STC)	
Potence nominâl (Pmp)	W
Tolerance di potence massime ( $\Delta$ Pmp)	%
Potence minime garantide	W
Tension nominâl (Vmp)	V
Corint nominâl (Imp)	A
Tension a vueit (Voc)	V
Corint di curt circuit (Isc)	A
Grât di eficiencie dal modul	%
Grât di eficiencie da lis piastrelis	%
Coeficient di temperadure su Isc	+ %/°C
Coeficient di temperadure su Voc	- %/°C
Coeficient di temperadure su Imp	- %/°C
Coeficient di temperadure su Vmp	- %/°C
Temperadure di normâl operativitât da la piastrele (NOCT)	°C

No duçj i furnidôrs a elenchin duçj i parametris eletrics ripuartâts. I parametris indispensabii par une corete furnidure e un otimâl dimensionament dal implant a son la definizion da la *Tolerance di potence* e i *Coeficients di temperadure*, che o viodarìn tal paragraf 5. *Tipologjie dai implants FV*.

3.3 *Il cjamp FV intal implant eletric FV*. Intun cjamp FV di un implant eletric FV, i modui a son metûts adun cul stes criteri che a son stadis metudis adun lis piastrelis FV: modui metûts in serie che a formin une stringhe, e stringhis metudis in parêl che a formin un cjamp FV. Il numar di modui e il numar di stringhis a dipendin di fatôrs inzegneristics. In chest paragraf o fasin des considerazions e o mostrin dai aspjets che a son presints in ogni progjet di implant eletric FV, prime di meti in vore i modui FV. Par solit la massime potence Pmp e je un dât di progjet, par podê calculâ la energjie produsude intun an. Tal calcul di Pmp o cjatìn doi fatôrs Ipm, Vpm che a dipendin un di chel altri. Sielt un, chel altri al ven imponût de sielte dal valôr di Pmp. A chest pont si scugne considerâ un tipic implant FV: l'implant FV zontât a la rê. Intun implant FV cun cheste carateristiche, l'argagn che al met in comunicazion fisiche il cjamp FV cu la rê al è il convertidôr CC/CA (Corint Continue/Corint Alternade) o inverter che principalmentri al lavo-



re in tension. Un inverter al è caracterizât di une bande de potence massime in CC e CA, e di chê altre di un “barcon” di tension  $\Delta V = V_{\max} - V_{\min}$  de fasse CC. Ven a stâi che il numar di modui intune stringhe al produsarà une  $V_{oc}$  cuntun valôr comprendût fra il valôr di tension eletriche minime  $V_{\min}$  e massime  $V_{\max}$ .

In conclusion, un bon risultât di produzion al sarà un compromès fra il cost dal implant e i parametris sielzûts. “Cuant che dut al è dît e fat” a restin doi elements di considerâ par valutâ se il sisteme FV al è stât realizât ben e cuntune conversion energjie solâr/eletriche eficiente: un “valôr alt di rendimento”, ven a stâi une misure di potence eletriche dongje a la potence nominâl certificade e un “client apaiât” pal sparagn in tiermins di bolete ENEL.

*3.4 La dipendence produtive dal modul da lis variabilis gjeografichis e meteorologjichis.* Une volte che al è stât sielt il modul, rivâ a la potence nominâl e dipent so redut de latitudin, de morfologjie dal teritori, des condizions me-teo e da la sô esposizion. La potence dal modul e dipent dal angul formât da la normâl superficie cu la direzion dai rais dal soreli. Se l’angul al è zero, il modul al rive a la massime potence, considerâts costants ducj chei altris fatôrs. Se la posizion dal modul e je fisse, di consequence l’angul al dipent de ore dal dì e da lis stagjons. A misdì l’angul al è clamât di *azimuth*. Se l’*azimuth* al è zero il modul al furnis la massime potence vie pe zornade cul cîl seren. Al è pussibil calculâ esatementri la pendenza dal modul sul plan di poie (clamât angul di *tilt*) ai doi solstizis di istât e invier e ai doi ecuinozis di primevere e autun. In Friûl, cu la latitudin ator dai  $46^\circ$ , i doi angui corrispondents ai doi solstizis di istât e invier a son cirche di  $15^\circ$  e di  $60^\circ$  e, cun modui su struturis fissis, si sielç un angul di *tilt* che al risulti intermedi ai doi. Par mantignî l’angul di *azimuth* a zero vie pal dì, il modul al à di lâ daûr dal soreli intal so moto diurni. Chestis considerazions a àn un valôr teorik parcè che inte pratiche, par solit, i modui a vegnin poiâts su la ale dal cuviert (“retrofit”). Tes situazions di montaç cence grâts di libertât, la produttività di un cuviert FV e ven calculate cun programs che a gjavin a la produttività teoriche dal modul, intun determinât lûc gjeografic, chê reâl. Cun cheste finalitât a son stâts progetâts dai software di pueste.

Lis simulazions a disposizion a produsin risultâts par macro areis gjeo-

grafichis, mentri che regions tant che la nestre (Friûl Vignesie Julie) a àn une morfologjie une vore varie: grandis variabilitâts di insolazion e di temperature si puedin vê, passant da la planure a la alte montagne, par i fonts des valadis, pal grât di nuvolositât, la umiditât dal aiar e la radiazion spandude. Un calcul di proget mirât al domande aprofondiments, misuris e bancjîs di dâts inzornâts, mirâts sui lûcs di dut il teritori regionâl.

**4. Il proget “Agathos”: esperiencis didatichis interativis di sience e di tecnologjie.** Il proget “Agathos” al nas daûr il sburt dai Seminaris dal 1999, cjadalan da la scuvierde de pile eletriche. Daspò di chel moment, il proget si è disvilupât in diviers moments. In cheste schede o presentin cualchidune fra lis esperiencis plui impuartantis.

Dal imprim i socis de AIF di Udin a àn stimolât la atenzion de Provincie par che e cjapi sù la oportunitât dal program “10.000 FV roofs”, come prin pas par vierzi un gnûf cjamp di studi e di inovazion tecnologicjiche. Fn a indreçâ la siele di finanziâ, cul concurs de Region e dal Stât, la costruzion di un implant di 5KW al ITI “A. Malignani”. Daspò i components di “Agathos”, docents e tecnics dal ITI “A. Malignani” e socis dal AIF, a àn partecipât a plui sessions di lavôr inte UAT (Associazione Udin Alte Tecnologie), par inviâ a Udin une aree speciâl di educazion sientifiche. Infin un insegnant de Scuele e component dal grop Agathos, al à partecipât a lis sessions di lavôr dal seminari “Il sole a Scuola” dal ENEA (Ente Nazionale Energia Ambiente), in colaborazion cul MIUR (Ministero Istruzione Università Ricerca) e il Ministeri dal Ambient.

Dentri dal ITI “A. Malignani” si son inviadis diviersis esperiencis, cul concurs dai students, di costruzion di prototips par promovi l’aprendiment atîf des ideis sientifichis e tecnologicjichis. Un dai prototips di maiôr sucès, costruît di pueste par celebrâ la ricorence dal 1999, e je stade la pile di Volta. “La pile di Volta e lis sôs meraveis”, cussì al è stât clamât il prototip, e à inviât la atenzion su la produzion di energjie eletriche de font FV.

Po daspò la atenzion si è spostade sui piçui paneli di Si amorfi, suntuone sengule piastrele di Si policristalin e infin su la sembladure di doi paneli di potence, in mût di formâ un cjamp FV di colegâ, cuntun cuadri elettric, a lis aparecjaduris che a dan la pussibilitât di studiâ il sparagn energjetic e la produzion di energjie eletriche. Cheste ultime siele si è rivelade previdente, parcè che e à dât la pussibilitât di fâ esperiencis suntuone prototip une vore di

timp prime da la realizazion dal implant complet (5KW)<sup>23</sup>. Il vantaç al è stât dopli: di une bande si è slargjate la culture dal rignuvibil e de cure dal ambient, di chê altre i students e i insegnants a son stâts sburtâts a fâ esperiencis di progetazion e di ricercje in situacions di autonomie organizzative.

In chest articul, considerant lis finalitâts, no saran esponûts i elencs dai dâts e des misuris ma si pandaran lis motivacions e il metodi adotât, cun cualchi curt coment sui risultâts.

O tacarìn disint che lis misuris a cîl viert o “en plein air”, a son stadis disturbadis di une schirie di fatôrs rispjet a lis comudis e controladis misuris di laboratorî. Il strât di aiar che al filtre la lûs al à une densitât variabile, par vie dai moviments dal fluit di aiar che si àn cu lis escursions termichis e di altris fatôrs minôrs. Par chest, la misure e risulte “naturalmenti” variabile. Par vê une idee da la diversitât di ambient al bastè considerâ il spetri di cuarp neri oti-gnût in laboratorî cul spetri di cuarp neri dal Soreli, in condizions di AM1,<sup>524</sup>. I contors dal spetri dal soreli a risultin frastaiâts par vie dal diferent assorbiment a lis diversis frecuencis de radiazion visibile e a cambin di un continui (viôt la Figure 2.4.1).

Chestis consideracions sintetichis e essenziâls su lis condizions dal ambient dulà che si fasin lis misuracions di radiazion solâr, nus puartin a considerâ che la precision dal procès di misurazion nol è un fatôr necessari par une racuelte di misuris utilis a formulâ valutacions coretis su la eficiencia da la conversion fotovoltaiche. Di fat, pûr ripuartant valôrs misurâts cuntune strumentazion didattica e di basse precision, la misure “filtrade” di cheste sorte di “gridele” a mais largjis nus à dât informacions preziosis e par solit “coretis”. Chescj risultâts a vignaran discutûts soredut tai paragrafs 6 e 7.

Lis valutacions di eficiencia tal procès di trasformazion *energie radiante/energie elettriche* a son stadis fatis doprant un “Banc di misure FV” e i prototips “Isule FV” e “Gjirasol FV”. Lis aparecjaduris di sostegn e lis sembladuris a son stadis fatis sù e metudis adun li dai laboratoris e dai reparts di lavorazion dal ITI “A. Malignani”. Par facilitât di leture o vin dividût lis



Foto 4.0. Part de taule di lavôr di Volta, cun dôs torpedinis intal vâs di veri, e un grup di pilis elettrichis (par concession dal Museo per la Storia dell'Università di Pavia).

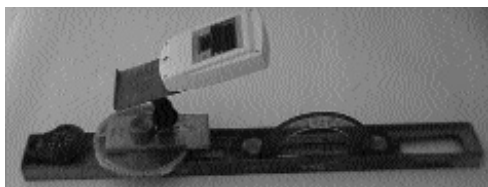


Foto 4.1. Sisteme didatic par cjapâ sù valôrs di intensitât de lûs e temperature de piastrele FV: solarimetri e argagn zirevul.



Foto 4.2. Taule di misuris a “plen soreli” par cjapâ sù dâts dal panel FV.

esperiençis in “blocs” ançe se inte pratiche, cualchi volte, lis ativitâts a son stadis davueltis in paralêl e in intersezion.

*I bloc.* In cheste prime fase, metude adun par fâ cressi lis motivazions intai students di indreçament specialistic, dai 15 ai 16 agns, o vin preparât il teren par orientâju al monitorament dai cjamps FV (viôt Foto 4.1 e 4.2).

Un piçul panel di Silici amorfi al è stât esponût al soreli par studiâ la rispueste in tension e corint, variant il caric electric cuntune casselute di resistôrs campion. La corelazon fra i dâts di corint e di tension sul plan cartesian e furnîs la carateristiche esterne dal panel. A son

stâts elaborâts i dâts pa la valutazion dal pont di massime potence e la valutazion arossimative da la eficiencie. Lis misuris a son stadis fatis il 26 di lui dal 2003, da lis 12.15 a lis 13.00 cirche. Consultant la bancje dâts da la Agenzie ARPA-OSMER dal Friûl Vignesie Julie<sup>25</sup>, o vin viodût che in chê ore la insolazion e risultave prossime al valôr medi ripuartât intes misuris.

Il panel al è stât posizionât a sud est (cirche 15° est), cuntun angul di tilt di 30°. La insolazion e je stade seguide cuntun luximetri, par tignî di voli la iradiazion. A son stadis rilevadis misuris sedi al inizi che a la fin di ogni session di misure, fasint atenzion a compî lis misuris manuâls a la svelte, par che la insolazion no gambiàs in maniere sensibile. A son stadis rilevadis 35 misuris (V,I), corispondentis a variacions discretis des resistencis. In dut il timp da lis misurazions, la variazion p.c. di insolazion massime e je risultade di cirche il 15%. No son stadis rilevadis lis misuris di temperature su la piastrele. Valutât che l’obietf de racuelte da lis misuris al jere chel di individuâ il Si utilizât intal panel – amorfi o cristalin – lis misuris di “grane gruesse”, racueltis inte situazion di variabilitât di insolazion, nus àn dât mût

di calculâ un dât di eficiencia valit. Di fat, la difference di eficiencia fra l'amorfi e il policristalin e je di diviers ponts percentuâi, e chest nus à dât la pussibilitât di prossumâ la iradiazion medie e chê standard (STC).

Tirâts sù ducj i dâts, a son stâts ripuartâts sul sfuei di calcul dal computer, adun cul grafic da la carateristiche esterne<sup>26</sup>. Il pont di massime potence, a pene superât il zenoli da la curve, al ripuarte chest risultât:  $P_{max} = 193,3 \text{ mW}$ ; cui dâts a disposizion  $\Pi \approx 1000 \text{ W m}^{-2}$ ;  $S = 28,9 \text{ cm}^2$ ; dal calcul si dedûs une eficiencia dade di cheste formule:  $\eta = P_{max} / \Pi \cdot S = 6,65\%$ , che e je une eficiencia che cence dubi si pues atribuî al Si amorfi.

*Il bloc.* Cu la finalitât di svicinâ i students a lis problematichis implantistichis a son stâts comprâts doi modui di  $75 \text{ W}$  di potence nominâl, e disponûts su doi carei mobii par facilitâ lis operations di traspuart e par podê orientâju (viôt Foto 4.3). Suntun altri carel mobil a son stâts disponûts *a)* i acumuladôrs; *b)* il regoladôr di cjarie; *c)* un inverter a sinusoit pûr.

Si veve fissât doi obietîfs: *prin* verificâ se intes condizions prossimis a chês standard la potence efetive dai modui si svicinave al valôr di potence nominâl  $P_{mp}$  declarade inte etichete esponude sul modul; *secont* misurâ lis grandecis eletrichis tension/corint cui modui disponûts in serie e in paralêl, e sierâts sul grup di cumul costituît di dôs batariis colegadis in serie.

Si ripuartin lis principâls grandecis fisichis cjapadis dentri intal procès di misurazione dai modui, suntun caric simulât di un areostrât:

- *carateristichis dai modui:*  $75 \text{ W}_p$ ,  $V_{pm} = 17,0 \text{ V}$ ,  $I_{pm} = 4,4 \text{ A}$ ,  $V_{oc} = 21,6 \text{ V}$ ,  $I_{sc} = 4,7 \text{ A}$  in configurazion di serie e in paralêl;
- *sît:* Udin, ITI "A. Malignani", latitudin  $46^\circ$  nord;
- *condizions meteo:* cîl seren, zornade 30/03/2004, ore 11:15 – 11:25, temperadure dal aiar  $21,5 \text{ }^\circ\text{C}$  cirche;
- *posizion dai modui:* azimuth =  $-5^\circ$  cirche, tilt =  $30^\circ$  cirche,  $I_r = 950 \pm 1015 \text{ W m}^{-2}$ .

Il massim dât di potence otignût cu la configurazion in paralêl, e in condizions cuasi standard, al è risultât di cirche  $126 \text{ W}$ , inferiôr di cirche il  $15\%$  di chel declarât dal costrutôr ( $75 \text{ W}$  nominâi ognidun).

Il studi dal compuartament dai modui colegâts cul grup di cumument nol è stât completât. Par une descrizion complete al coventarès il rilêf da lis carateristichis esternis dai modui, intes configurazions di serie e in paralêl, da la carateristiche esterne dal grup di cumument e la definizion dal pont di lavôr dal sisteme modui FV/grup di cumument in fase di cjarie, cun e



Foto 4.3. Sistemazioni dal argagn "Isule FV" intun laboratori a "cîl viert".



Foto 4.4. Argagn "Isule FV" esponût intal atri de scuele ITI "A. Malignani".

cence l'adament dal regoladôr di cjarie inserît jenfri i modui e il grup. In fin, pe completece de ricercje, si dovarès ancje considerâ il rindiment di conversion cu la aparecjature di conversion DC/AC (inverter) che e alimente un caric.

In prevision di une session di misuris, e cu la finalitât di rindi asiade e svelte la racuelte, al è stât progjetât e realizât un quadri eletric di interfaçament (viôt la Figure 4.4) adun cuntun grup di students e di tecnics di laboratori.

Chei altris elements che a completin il prototip "Isule FV" a son:

- N. 1 regoladôr di cjarie 24 V / 30 A;
- N. 1 grup di cumulament di Nb = 2 /12 V elements al Pb cun soluzion acit solforic d =1,2 di capacitât 129AhC10, 119AhC5, 108AhC3, 108AhC5; 83AhC1;
- N. 1 aparecjature di conversion DC/AC (inverter) 200 VA a onde sinusoidâl pure.

Lis misuris a son stadis fatis in chestis condizions:

- a) interfaçament a cîl viert fra i modui e il grup di cumulament *cun regoladôr* e valutazions dal assorbiment di corint su lampadis a discjarie di gas, motôrs eletrics in continue (24V) e alternade (220V) e lampadis a filament. Se la tension dai modui e devente inferiôr a chê dal grup di cumulament, il regoladôr al mande in curt circuit i modui;
- b) interfaçament al aiar viert fra modui e grup di cumulament *cence regoladôr* e valutazions dal assorbiment di corint dal grup di cumulament su 12V e 24V. La tension dai modui si adate a chê dal grup di cumulament. Daspò vê cjaminât confidence cui materiâi e lis aparecjaduris, e daspò vê

capit il sisteme des relaziuns fra produtivitât e variabilis meteorologjichis e fra produtivitât e parametris di asset, si son consideradis lis pussibilis soluzions che a permetin di rindi al miôr il proces di conversion energiele radiante/energiele electricele.

*III bloc.* A son stâts realizâts diviers sistemis di posizionament e di orientament di modui e panei FV manuâi e automatics (Foto 4.5). Cui prins esemplârs, un di chescj al è stât clamât “Gjiresol FV copernican”, si son studiadis lis variaziuns di produtivitât electricele di panei FV di ûs domestic in funzion di angui corispondents a la longjitudin e latitudin dai sîts dulà che si pense di disponi i modui. Il secont, costruît sui obietîfs di un projet scuelastic, al prodûs un inseguiment automatic metût adun di sensôrs e di un program di PLC<sup>27</sup>, che al comande i ativadôrs di inseguiment (Foto 4.6). Un tierç (Foto 4.7), di interès comerciâl, al è stât visitât di un grup di insegnants che a àn rigjavât ideis pal projet mecanic dal implant di 5KW che al è stât fat sù al ITI “A. Malignani” di Udin (Foto 4.8).

I implants FV a inseguiment a miorin la eficiencie di conversion di plui dal 30%. E pûr, intune prospetive di difusion di cheste sorte di implant, o vin des cuintrindicaziuns, sedi economichis che tecnicis. Une struture di sostegn a “inseguiment automatic dal soreli”<sup>28</sup> e pues incressi in maniere sensibile il cost dal implant cence une preseabile diminuzion dal numar di agns pal riscat dal investiment iniziâl che si à cu la maiôr produ-

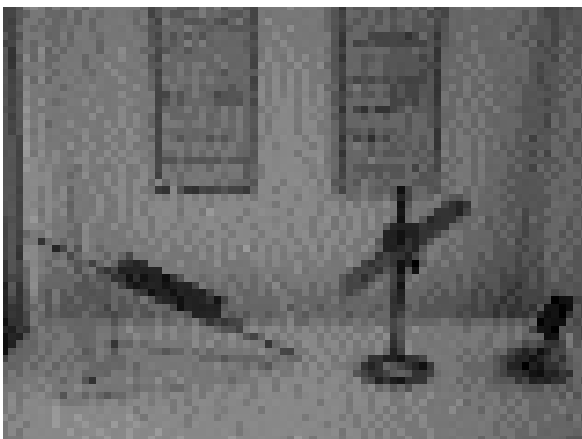


Foto 4.5. Modei didactics “supuarts mobii FV”.

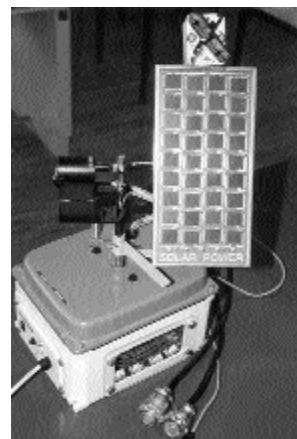


Foto 4.6. “Gjiresol FV” cun sensôrs par lâ daûr al soreli.



Foto 4.7. “Gjiresol FV” di 0,5 KW: particolâr dal sisteme mecanic di moviment (par concession de societât *Enerpoint srl* Milan).

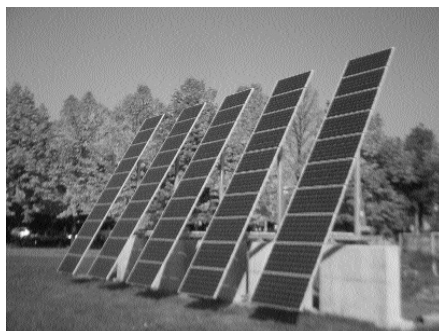


Foto 4.8. Sisteme FV a dople funzion di 5KW, fat sù dongje de scuele ITI “A. Malignani” di Udin cu la consulence scientifiche e progjetuâl dal grop “Agathos”.

zion di energjie eletriche. Dal pont di viste tecnic, i implants di potence a inseguiment a pretindin dai fuarts basaments di fissaç de strutture e calcui strutturâi par lis verifichis di resistence al aiar (efiet vele). Infin, ricuardant la politiche di finanziament “cuvieris FV”, i coscj unitaris ametûts a son di intin-di pe metode in vore dai modui su lis faldis dai cuvieris in plan; e tal câs di ocupazion di superficiis planis, chestis a scugnin sodisfâ il requisîts di “passivitât”, ven a stâi che no puedin sedi dopradis ni par finalitâts agriculis ni urbanistichis (teraçaments, tarlîs, zonis di bonifiche, ceis e v.i.).

In conclusion, il studi de produzion di energjie eletriche cun implants a inseguiment al è didaticamentri une vore util e interessant parcè che al cja-pe dentry students, insegnants e professioniscj su varis esperiencis. Invezit lis prospetivis di difusion di cheste sorte di implant a dipendin da lis oportunitâts di finanziament, dentry di progjets vuide cuntune fuarte ricjadude di imagjin. Sul front da la ricercje aplicade, si stan studiant sistemis economics di inseguiment passîf (o ben cence doprâ sistemis programabii) e particolârs sistemis di orientament dai rais solârs (sistemis a concentrazione e lavorazioni particolârs da la superficie ative de piastrele FV).

## 5. Implants FV

*5.1 Tipologjie dai implants.* La tecnologjie FV e je stade aplicade storicementri pe produzion di piçulis quantitâts di energjie eletriche, in situacions di impossibilitât di otignî energjie eletriche cun altris tecnologiis o pûr pal vantaç economic di instalâ modui FV in lûcs cence rêl eletriche publiche<sup>29</sup>.



I implants FV cun cumulament de energie eletriche produsude a son clamâts *implants a isule*<sup>30</sup> e in di di vuê a costituissin une soluzion tecniche minoritarie tal contest de politiche di sostegn di implants FV cun contribûts publics. Par solit, a vegin realizâts dulà che no esist la rêt publiche di alimentazion. I implants che a risultin plui presints intes graduatoriis dai beneficiaris a son chei *tacâts a la rêt publiche*<sup>31</sup>. Di fat, a dan la pussibilitât di sfrutâ dute la energie eletriche produsude dal cuviert fotovoltaic, indipendentementri dal consum, e par chest di otignî il massim sparagn energetic. Culi o ricuardin une tierce sorte di implant che però si realize une vore pôc ma che al da la pussibilitât sedi di cumulâ la energie eletriche che di veto-riâl, ven a stâi di furnî cun continuitât energie eletriche ancje tal câs di *black out* da la rêt publiche. Cheste sorte di implant al unîs dutis dôs lis soluzions sorescritis e al ven clamât a dople funzion<sup>32</sup>.

Intes Figuris 5.1.1 e 5.1.2 a son riprodusûts i doi implants plui doprâts: a) l'implant FV tacât a la rêt (di chi indenant GC) e b) chel a dople funzion a isule (di chi indenant SA). Un rclam si pues fâ ancje par un modul speciâl, menzionât ancje tal paragraf precedent, che al pues sedi doprât in dutis lis configurazions e che al da la pussibilitât di incressi la eficiencie dal implant (fin al 40%). Si trate de unitât a inseguiment "Gjiresol FV" o inseguidôr solâr. Nol è un gnûf implant ma pluitost une soluzion mecaniche par incressi la produtivitât dal cjamp FV.

Un gjeneradôr FV nol è complicât (tant mancûl di une centrâl nucleâr...!) e si pues riassumi in chestis parts: a) il panel o modul; b) il cjamp FV formât cuntune o

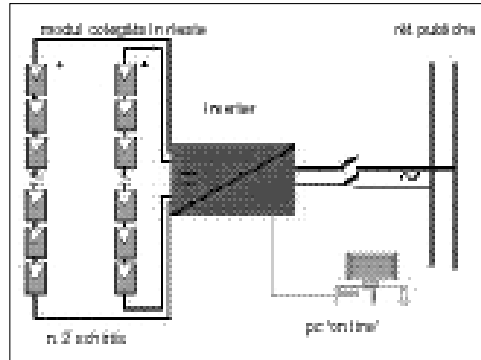


Figure 5.1.1. Disen di implant FV GC (colegât a la rêt).

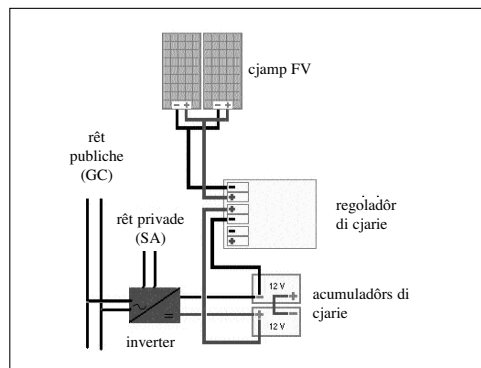


Figure 5.1.2.

plui stringhis in paralêl; c) il grup di conversion (inverter); d) il grup di cumulement (in zonte tal sisteme SA-GC o necessari tal sisteme SA); e) un cuadro di cjamp (cu lis protezions); f) il contatôr da la energjie (escludût tai implants SA).

A chestis parts si dovarès zontâ une part opzionâl: h) il sisteme di monitoraç, che al merte cualchi considerazion. Cualchi inverter al ven distribuît cu la pussibilitât di mantignî la memorie di un pocjis di grandecis tipichis da la produzion: la potence massime che si rive a vê (W), la energjie produsude ogni dì e chê totâl produsude dal inviament dal implant (kWh), lis oris di funzionament (h). Ma chestis indicazions no son avonde pes operazions di colaut. Di fat e covente ancje la misure de temperadure (°C) e di insolazion ( $Wm^{-2}$ ). Se si vûl ancje il monitoraç in continui e la memorizazion dai dâts al covente che une schede dentri dal inverter, o un “Data Logger” a vegnin colegâts ai sensôrs di iluminament e di temperadure. Un software di pueste, integrât inte schede dal inverter o dal Data Logger al trasmetarà i dâts a un cuadro sinotic o a un ordenadôr eletronic (pc) par une comude lecture da lis grandecis tipichis e une elaborazion in diferide.

*5.2 Indicazions di progjet.* Prime di ogni altre considerazion, la regule d’aur e je cheste: *plui il pont di lavôr al è prossim al pont di massime potence, maiôr e je la energjie che si pues otignî.*

Tai implants FV GC l’inverter al à integrâts i circuits e il software par mantignî simpri cheste regule. Tai implants a isule al è invezit un probleme viert, une sfide par i progjetiscj.

Il dimensionament otimâl di un implant tacât a la rêta al è influençât di fatôrs diferents, chescj a son i principâi:

- a) la cualitât dal panel e la sô potence nominâl;
- b) la composizion da lis stringhis di moduli in schirie e in paralêl;
- c) la interface dal cjamp FV cul inverter;
- d) la disposizion dal cjamp FV;
- e) lis soluzions di cabladure.

Culî daûr o din cualchi indicazion di tecniche pratiche pe realizazion “a regule d’art” di un implant (lis considerazions si riferissin ai dâts dal modul ilustrâts inte Tabele 3.1):

- a) la potence nominâl no je chê efetive e di consequence, par valutâ la produzion, si à di riferîsi a une potence minime in condizions STC e al ricalcul da la potence se si cognossin i coeficients di corezion de temperadure;

b) lis stringhis a àn di sedi omogjenis, o ben fatis cun modui selezionâts par potence minime, cuntun dât di variazion da la potence massime  $\Delta P_{pm}$  plui bas possibil;

c) l'inverter al à di sedi sielzût cun riferiment a doi dâts:

c1) la potence che e à di sedi maiôr di chê nominâl dal cjamp FV;

c2) la barconete di vierzidure di tension che e à di contignê la massime variazion dal interval di tension a circuit viert  $\Delta Voc^{33}$  da lis stringhis, cul valôr massim ( $Voc_{max}$ ) dât dal costrutôr a la minime temperadure e chel minim ( $Voc_{min}$ ) al à di sedi calculât su la massime temperadure che si rive a vê sul modul;

d) se si proviôt di realizâ il cjamp FV su la falde di un cuviert, si à di sielzi chê orientade a sud/sud ovest e, naturalmentri, no si à nissune pussibilitât di modificâ l'azimuth, a mancul che i modui no sedin metûts adun cun struturis a inseguiment; invezit si pues decidi l'angul di tilt, so redut se si à ce fâ cun teraçaments plans (viôt la Figure 5.2.1); pes struturis fisis la siele dal angul di tilt e je un compromès fra l'angul minim (solstizi d'invier) e chel massim (solstizi d'istât); la siele da la variazion angolâr  $\Delta tilt$  e dipent da la latitudin dal sît;

e) lis cabladuris a àn di jessi fatis in mût di ridusi al minim la colade di tension sui cablis di colegament fra i modui e fra lis stringhis e l'inverter; ançe chestis a son des sieltis di compromès fra la motivade siele di scompartû il cjamp FV intun numar di stringhis alt e il contigniment da la lungjece complessive dai condutôrs e une sezion adevuade dai condutôrs stes.

E vâl ançe la pene di pandi cualchi considerazion economiche, par valutâ la convenience de bande de utence di instalâ un implant fotovoltaic. La part critiche di cost e je determinade dal cjamp FV che al cuvierç il 70% ÷ 80% dal cost totâl dal investment. Su chest element decisîf al è ben fâ cualchi considerazion.

I modui che si cjatin cumò in cumierç a son di Si cristalin di grât elettronico. Il Si *monocristalin* al realize une eficiencie di pôc superiôr al *policristalin*

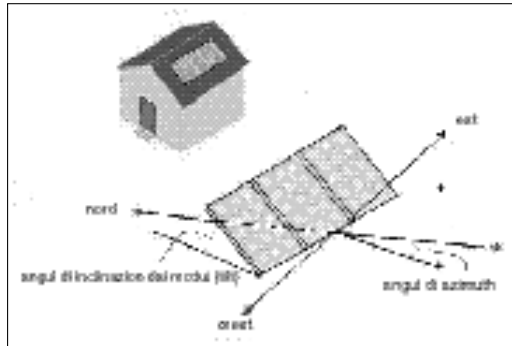


Figure 5.2.1. Orientament di un cjamp FV.

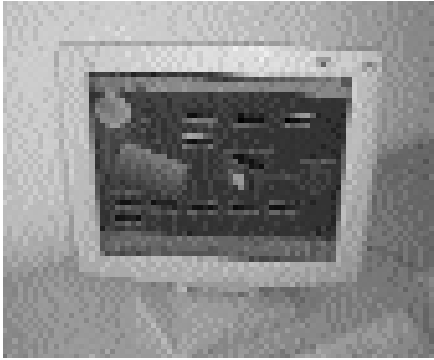


Foto 5.1. Ordenadôr eletronic (pc) “on line” par presentâ in automatic i dâts di energjie e di ambient.

e cussì, a paritât di potence nominâl, e dopre mancul superficje. Un discors particulâr al va fat pal Si *amorfi* che inte nestre Region nol è ancjemò une alternative ma dal sigûr tal futûr al cjatarà une buine aplicazion, suerant cualchi perplessitât che ancjemò e je su la stabilitât di chest materiâl. Di fat, al è segnalât pe maiôr produtivitât, rispjet al cristalin, in condizions di lûs spandude e al è plui facil di doprâ, parcè che al pues sedi produsût ancje in nastris flessibii.

Sielt il modul FV, il limit di potence instalade al è imponût de superficje a disposizion sul cuviert o partiere. Stabilide la potence nominâl dal cjamp FV, la produzion e dipent da la latitudin, da la morfologjie, da lis condizions meteo e da la esposizion dai modui (angul di tilt e di azimuth). Une valutazion di dutis chestis variabilis e à ce fâ cul calcul economic de produtivitât, o ben cu la prevision dal numar di mêse che a coventin par tornâ dentri cul investment. Par stabilî in maniere precise la produzion in KWh al covente integrâ la potence istantane cul periodi (anade). Cheste operazion le fâs il “convertidôr (inverter)” e/o il contatôr. Il contatôr al è domandât dal Ent gjestôr de rêtu publiche (ENEL in Italie), che al da la autorizazion pal alaçament dal gjeneradôr FV a la rêtu e che al fâs la tarifazion de compensazion di energjie traficade.

Une des *finalitâts de ricercje* pal futûr e sarà chê di monitorâ in mût puntuâl dutis lis localitâts cjâf lûc de nestre Region, e confrontâ i dâts di produzion di energjie, racuelts intai tancj implants che a saran instalâts, cun chei di prevision, furnîts dai modei matematics.

Invezit un dai *obietîfs dal progjet* al sarà chel di miorâ la eficiencie dal implant, soledut par chel che al inten la definizion da la potence nominâl e da lis relativis tolerancis, che in di di vuê a son ancjemò pôc precisis e disfavo-revulis ai interes da lis ditis instaladoriis e da la utence.

## 6. Ilustrazion di implants realizâts cul contribût regionâl (bant 2001).

In Friûl Vignesie Julie, dal 2001 incà a son stâts instalâts in dut 100 kW di implants FV, di chescj cirche 50 kW a àn gjoldût dai contribûts de Region Friûl

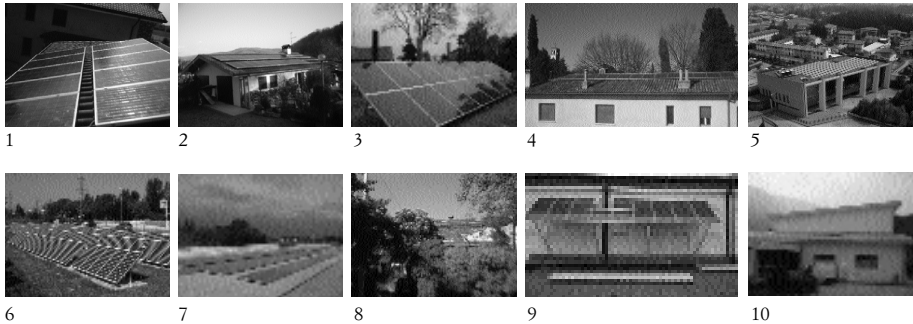


Foto 1 Cuvier FV Dalmasson L., Cuar di Rosacis (Ud).  
 Foto 2 Cuvier FV Cecotti S., Cividât (Ud).  
 Foto 3 Cjamp FV EuroJulia srl, Val di pesje Francamella, Grau (Go).  
 Foto 4 Cuvier FV Pozzetto S. Sas, Manzan (Ud).  
 Foto 5 Cuvier FV AMGA Spa, Udin.  
 Foto 6 Cjamp FV Consorzi par il disvilup industriâl di Monfalcon (Go).  
 Foto 7 Cuvier Cervesato G. Sas, Pradaman (Ud).  
 Foto 8, 9, 10 Municipi, Palestre e Scuele Medie dal Comun di Montreâl Valceline (Pn).

Vignesie Julie e dal Ministeri dal Ambient pai privâts e i Ents Publics. Chei altris cui contribûts direts de Regjon Friûl Vignesie Julie e dal Ministeri dal Ambient dome pai Ents Publics<sup>34</sup>.

Chi sot si pues viodi une schirie di fotografiis di un pôcs di cjamps e “cuviers FV” publics e privâts realizâts inte regjon Friûl Vignesie Julie.

Passin cumò a ilustrâ lis carateristichis, i components e i dâts di produzion di implants realizâts cui contribûts publics. Inte *note* si ripuartin un *coment* par discuti i dâts di produzion rispjet a lis spietavis e une *simulazion* par confrontâ il dât calculât dal program cul risultât vignût fûr elaborant i dâts reai.

*Cjase Dalmasson L., Cuar di Rosacis (Ud)*: storicementri al è il prin implant GC privât jentrât in funzion inte Provincie di Udin cul contribût public (14 Avost 2003). Projetât e realizât de dite Pozzetto Silvio Impianti Elettrici Sas, Manzan (Ud).

Caratteristiche dal implant, components doprâts e risultâts de produzion:  
 a) falde sud, pence 20°, altece de tiere: 4 m sul colm, 3 m sul mûr perimetrâl; b)  $N_s = 2$  stringhis suntune superficie di modui di 15,6 m<sup>2</sup>; c) numar di modui  $N_p = 12$  NE-Q5E2E in Si policristalin  $I_{pm} = 4,77$  A,  $V_{pm} = 34,6$  V,  $V_{oc} = 43,6$  V,  $I_{sc} = 5,46$  A; d) N. 1 inverter IG20 che al sosten fin a

2500 W de fasse CC; e) produzion de prime anade 2054 kWh; f) numar di oris ecuivalentis cirche 2,84 heq.

*Coment.* Si spietave di vê une produzion di cirche 2300 kWh (pari a heq = 3,1 oris ecuivalentis); la produtivitât minôr (cirche -10%) e je dovude a diferentis causis. Lis principâls a son chestis: a) une parziâl ombrene de costruzion dongje a la cjase sot sere (cuant che il soreli al è plui produtîf di chel de matine, e une anade cuntune nuvolositât sore la medie; b) la potence efe-tive dal panel e je risultade inferiôr a chê nominâl; cun riferiment a la po-tence minime di 156,8 W declarade dal costrutôr si rive a une potence di cjamp di 1880 W cirche, par cirche 3,0 oris ecuivalentis.

Su chest cuviert e je stade fate une azion di monitoraç cui dâts di produ-zion eletriche furnîts dal inverter (kWh, W e CO<sub>2</sub>) e i dâts di insolazion e temperadure (W m<sup>-2</sup> e °C) a son stâts lets suntun visualizadôr, un solarime-tri cun termometri incorporât<sup>35</sup>.

*Simulazion.* Dâts in jentrade. Citât: Udin; latitudin: 46; inclinazion cu-viert: 15°; azimuth: -10°; energjie consumade ad an (KWh): 2100; radiazion ad an (KW m<sup>2</sup>): 1311.

Dâts in jessude. Energjie eletriche metude in rê (rindiment 78% ÷ 82%): 1022 ÷ 1075 kWh/a, par tant si varà di instalâ un sisteme FV di po-tence: 1953 ÷ 2055 KW.

*Cjase Cecotti S., Cividât (Ud):* storicementri al è stât il prin implant GC privât inlaçât dal ENEL a la rêrê publiche di distribuzion (10 Novembar 2003). Progetât e realizât de dite Pozzetto Silvio Impianti Elettrici Sas, Manzan (Ud).

Caratteristiche dal implant, components doprâts e risultâts de produzion: a) falde a sud ovest, pendance 20°, altece de tiere: 4 m sul colm, 3 m sul mûr perimetrâl; b) Ns = 3 stringhis suntune superficie di modui di 27,3 m<sup>2</sup>; c) numar paneli N<sub>p</sub> = 21 NE-Q5E2E in Si policristalin I<sub>pm</sub> = 4,77 A, V<sub>pm</sub> = 34,6 V, Voc = 43,6 V, Isc = 5,46 A; d) N. 1 inverter Fronius IG30 che al so-sten fin a 3,5 kW de fasse CC; e) produzion de prime anade 3604 kWh; f) numar di oris ecuivalentis cirche 2,85 heq.

*Coment.* Il risultât al à superât ce che si spietave, se si considere il fuart orientament de falde dal cuviert a sud ovest, un azimuth di cirche -60°, an-gul di tilt inferiôr di 10° rispjet a chel ritignût otimâl. Su chest bon risultât si pues formulâ cualchi ipotesis: la falde, pûr cuntun cjamp FV a pôcs metris di tiere, e je stade une vore ben in batude di soreli sul orizont a ocident; la

insolazion pomeridiane, siore di radiacions a lungjece di onde lungje e je risultade plui eficiente di chê de matine, plui spostade viers lungjecis di onde plui curtis. Si dedûs che la pierdite di part de insolazion de matine, par vie de mancjade esposizion a la radiazion direte dal soreli, e ridûs la produzion globâl di une cuote inferiôr a chê che si podeve spietâ. Ancje lis condizions meteo de zone, cun radiacions spandudis e contignudis, a àn esaltât la tecnologjie dal panel policristalin.

*Simulazion.* Dâts in jentrade. Citât: Udin; latitudin: 46; inclinazion cuviert: 15°; azimuth: -60°; energie consumade ad an (KWh): 3500; radiazion ad an (KW m<sup>2</sup>): 1266.

Dâts in jessude. Energieleletriche metude in rêt (rindiment 78% ÷ 82%): 968 ÷ 1038 KWh/a par tant si varâ di instalâ un sisteme FV di potence: 3543 ÷ 3372 KW.

*Cjase Pozzetto S., Manzan (Ud):* al è un implant GC inlaçât dal ENEL a la rêt publice di distribuzion (23 Lui 2004). Progjetât e realizât de dite Pozzetto Silvio Impianti Elettrici Sas, instalât de dite Mmilk, Manzan (Ud).

Caratteristiche dal implant, components doprâts e risultâts de produzion: a) falde sud di un edifici adibît a uficis e abitazion, pendance 20°, altece de tiere: di 7 m a 5 m; b) Ns = 1 stringhe suntune superficie di modui di 17, 77 m<sup>2</sup>; c) numar di modui Np = 14 model I165 165 Voc = 21, 6 V, Isc = 10,14 A, Ipm = 9, 48 A, Vpm = 17, 4 V in Si monocristalin; d) N. 1 inverter SMA SB1700E che al sosten fin a 1700 W de fasse CA; e) ai 30 di dicembar 2004 a son stadis ripuartadis lis leturis: E = 903 KWh, th = 1720 oris.

*Coment.* Il sisteme FV al è monitorât par tant che al rivuarde lis grandecis convenzionâls (kW, kWh, th, CO2, e v.i.), leint i dâts diretamenti sul scherm dal PC, trasmetûts di une schede inseride dentri dal inverter e cologade a la jessude seriâl standard dal PC. Un software al permet di programâ la disposizion sul scherm dai risultâts. Par chel che al inten la produzion, d'invier si à une ombre parziâl dai modui par vie di un cjamin. Par une svelte metude in opare e par evità la predisposizion dal cuadri di cjump, i modui a son stâts disponûts suntune sole stringhe.

*Simulazion.* Dâts in jentrade. Citât: Udin; latitudin: 46; inclinazion cuviert: 20°; azimuth: -5°; energie consumade ad an (KWh): 2500; radiazion ad an (KW m<sup>2</sup>): 1339.

Dâts in jessude. Energieleletriche metude in rêt (rindiment 78% ÷

82%):  $1044 \div 1098$  KWh/a par tant si varà di instalâ un sisteme FV di potence:  $2277 \div 3395$  KW.

*Isule di pescje Francamella di Grau (Go):* storicementri al è il prin implant SA instalât cui contribûts publics a privâts inte Lagune di Grau (Go) (22 Dicembar 2003). Progetât de dite Pozzetto Silvio Impianti Elettrici Sas e realizât de dite Essedue di Sandrini Simone di Fare (Go).

Caratteristiche dal implant, components doprâts e risultâts de produzion: a) falde a sud montade suntune strutture di açâr inox, pendance 30°; b)  $N_s = 9$  stringhis cuntune superficie nete di 22, 8 m<sup>2</sup>; c) numar di paneli  $N_p = 18$  model I165  $I_{pm} = 9, 48$  A,  $V_{pm} = 17, 4$  V in Si monocristalin; d) N. 1 inverter AJ2000 su la linie fuarce motôr e N. 1 inverter AJ400 su la linie lûs a onde sinusoidâl pure, che a sosten rispetivementri fin a 5 kW e fin a 1 KW di potence nominâl; e) regoladôr di cjarie 24V / 30 A; f) grup di cumulament cun cumuladôrs al plomp gel  $N_b = 12$  da 2 V ognidun e 630 Ah.

*Coment.* Chest implant nol à un sisteme di monitorament. Di fat no je une convenience esplicite a monitorâ cheste sorte di implants parcè che no son stâts realizâts cu la finalitât dal sparagn energjetic ma un chêt di soperî a la mancançe di rêt eletriche publiche. Cundiplui, il lôr implei al è saltuari e no dute la potenzialitât di produzion dal cjamp FV e ven sfrutade, ma dome fin a rivâ a la cjarie complete dai cumuladôrs, daspò di che il regoladôr di cjarie al ferme il flus di corint dal cjamp FV viers i cumuladôrs. Par sfrutâ dute la potenzialitât produtive di cheste sorte di implants si varès di doprâ i timps muarts (baterie di cumulament cjariade ma insolazion su la superficie dai paneli) doprant la energjie eletriche FV diretomentri sui rams derivâts. Par esempi azionant pompis par sollevâ o messedâ la aghe o produsint idrogjen par eletrolîs.

*Simulazion.* No si sa se al è un software pal calcul de energjie cumulade in funzion de capacitât di cjarie e dal consum.

*AMGA Spa Società multiservizi (Udin):* al è storicementri il prin implant public inlaçât a la rêt. Realizât cui contribûts dal 2001 dal Ministeri dal Ambient (24 Avrîl 2002) de dite Gechelin Group, Thiene (Vi).

Caratteristiche dal implant, components doprâts e risultâts de produzion: a) cuviert a terace a 20 m. de tiere, paneli disponûts suntune strutture metaliche ancorade al paviment; b)  $N_s = 6$  stringhis in paralêl cuntune superficie nete (paneli sembrâts) di 180 m<sup>2</sup>; c) numar modui  $N_p = 200$  model



PW1000  $I_{pm} = 2,9$  A,  $V_{pm} = 34,4$  V, in Si policristalin; d) N. 6 inverter SB3000 che al sosten fin a 3,0 kW su ognidune des fassis CA; e) al 31.12 dal 2004 a son stâts produsûts  $E = 54\ 243$  Kwh.

*Coment.* Ogni inverter monofase al è colegât a une singule fase dal sisteme trifase. Il sisteme al è monitorât automaticamentri par tant che al rivuarde lis grandecis convenzionâls (kW, kWh, th, CO<sub>2</sub>, e v.i.) leint i dâts diretamentri sul scherm dal PC, inviâts dal Data Logger SBC che al racuei i dâts dai 6 inverter furnîts di schede di acuisizion; il program al scjame automaticamentri i files sul fuei di calcul excel. La massime potence e je stade di 18,3 kW. Par che al rivuarde la produzion, lis stringhis no àn produsût dal 13 al 14.09 dal 2003 par causis no precisadis e la stringhe WR30-002 dal 25.02 dal 2004 al 13.06 dal 2004, par vie de rotture di un inverter che daspò al è stât sostituît. Tignût cont de situazion, al 31.12 dal 2004 e je stade lete une produzion di 54 243 kWh. Si pues presumi, cu la corezion quarta de valutant la produzion dal 2003, che la produzion efetive si sarès tignude ator dai 62 700 kWh, ven a stâi a heq = 3,13 oris ecuivalentis. Il risultât al è di considerâsi bon ma no otimâl, se si considere che azimuth e tilt a risultin otimâi. Il mancjât risultât che si spietave ator dai 3,3 heq al è forsi di fâ risultâ de potence complessive dai inverter che butin jù i pics dongje ai 18 kW di potence, mentri che il cjamp FV al varès di rivâ ai 20kW, intes condizions standard. Se i grups statics di conversion a limitin i pics di potence massims o se la potence nominâl e sedi in realtât inferiôr o di dificil razunziment, e reste une cuestion vierte.

*Simulazion.* Dâts in jentrade. Citât: Udin; latitudin: 46; inclinazion cuviert: 20°, azimuth: 0°; energie consumade ad an (kWh): 23000; radiazion ad an (kW m<sup>2</sup>): 1371.

Dâts in jessude. Energie eletriche metude in rê (rindiment 78% ÷ 82%): 1069 ÷ 1124 kWh/a par tant si varà di instalâ un sisteme FV di potence: 20463 ÷ 21515 kW.

*Municipi, Palestre, Scuele Medie Statâl dal Comun di Montreâl (Pn).* Si trate di trê implants zimui che a son stâts assegnâts cul strument de gare al ribàs di aste e inlaçâts a la rê ENEL tal Otubar dal 2004.

Caratteristiche dal implant, components doprâts e risultâts de produzion: a)  $N_s = 1$  stringhe in paralêl cuntune superficie di moduli di cirche 23 m<sup>2</sup>; b) numar panei  $N_p = 18$  I165 ognidun  $I_{pm} = 9,48$  A,  $V_{pm} = 17,4$  V in Si mo-

nocristalin; c) N. 1 inverter Sunny Boy SB2500 che al sosten fin a 3,0 kW di potence nominâl.

*Coment.* Lis diferencis a rivuardin la strutture di sostegn e il sisteme di monitorament. Inte Palestre la strutture di sostegn in açâr inox e je stade realizade a parêt (viôt Foto 9), cuntune vele inclinate di 30°; i doi cjamps FV su la Scuele e sul Municipi a son stâts poiâts sul plan dal cuviert, cuntune pendance dal 15° e monitorâts cuntun Data Logger SBC bon di trasmeti al pc sedi i dâts di produzion di energie eletriche (kW, kWh) e CO2 sparagnade, che i dâts di insolazion e temperature sul cuviert.

*Simulazion.* In prevision tal Jugn dal 2005.

*Cervesato G. Sas – Pradaman (Ud).* Al è jentrât in funzion tal Novembar dal 2004.

Caratteristiche dal implant, components doprâts e risultâts de produzion: a) cuviert a terace a 8 m. di altece de tiere; b)  $N_s = 6$  stringhis in paralêl cuntune superficie di modui di cirche 925 m<sup>2</sup>; c) numar modui  $N_p = 144$  I65 W  $I_{pm} = 9,48$  A,  $V_{pm} = 17,4$  V in Si monocristalin; d) N. 1 inverter Sunway T che al sosten fin a 32 kW di potence massime; e) oris totâls di funzionament al 31.12.2004: no disponibil.

*Coment.* Lis schiriis di modui a son colegadis a un sôl inverter trifase par mieç di un quadri di cjamp. Un piçul visualizadôr inserît inte part esterne de puarte dal inverter al permet di lei la potence e la produzion dal cjamp FV.

*Simulazion.* In prevision tal Jugn 2005.

**7. Presentazion dai risultâts da la produzion FV (a cîl viert).** Prime di lâ indenant te ilustrazion dai risultâts o considerin il probleme pratic che al à ispirât un lavôr di misurazione, racuelte e elaborazion di dâts: il colaut dai implants inlaçâts a la rêt.

Lis indicazions detadis da la ENEA, recepidis dal Ministeri dal Ambient e des Regjons che a cjapin part al program “Cuvierts fotovoltaics” a son, a prin voli, une vore pacjifics pai instaladôrs. Viodìn tal detai:

a) il rindiment de fasse de corint continue nol à di sedi inferiôr al 0,85 (85%); la pierdite di potence si pues prossumâ che e vegni te component de piastrele FV, inte gridele di conduzion des piastrele, intes areis di contact, tai cablis di colegament fra i modui e jenfri la stringhe e l’inverter;

- b) il rindiment de fasse de corint alternade al à di risultâ superiôr al 0,90 (90%). Cheste pierdite di potence si à dute dentri de aparecjadure inverter e e je dovude al riscjaldament de aparecjadure stesse in condizions di lavôr;
- c) complessivementri il rindiment che si oten al è l'ecuivalent dal prodot dai doi precedents: su par jù il 0,75 (75%).

Lis formulis pal calcul dal rindiment a son detadis da lis carateristichis tecnicis di furnidure pe realizazion dai implants FV di potence inferiôr a 20 KW GC (Programe cuvierts fotovoltaiics):

$$P_{cc} > 0,85 * P_{nom} * I / I_{sc}; \Delta P_{cc} \% < 2\%$$

$$P_{ca} > 0,75 * P_{nom} * I / I_{sc} \Delta P_{ca} \% < 2\% \Delta I \% < 3\%$$

La siele di rindiments cussì bas e plate lis dificultâts praticis che si àn cuant che si prove a fâ misuris tal aiar viert. Di une bande si à la dificultât di cjatâ condizions meteorologjichis stabilis cul cîl net e calme di aiar in condizions STC (ISTC 1000 W m<sup>-2</sup> e 25 °C), di chê altre la tolerance masse large inte definizion di potence nominâl certificade dai laboratoris e la mancjance di indicazioni sul grât di eficiencie des piastrelis FV, tai prins mêdaspò la produzion che e risulte diferente daûr la marcje dal modul. Al va marcât che sun chest ultin aspjet, la eficiencie dai modui esponûts tal soreli e pues sbassâsi. Di fat, a son stâts fats dai test su panel di une marcje diferente e par tancj di lôr si àn vudis diferencis avonde grandis da la potence nominâl, a la fin di trê periodis di 3,6 e 9 mêsh<sup>6</sup>.

In fin, al va tignût in considerazion che la eficiencie e cale se la temperature e cres, come che o vin za considerât tal paragraf 3.2. Inte normative dal bant 2001 de Regjon Friûl Vignesie Julie, si cite la pussibilitât di corezi i dâts rilevâts se la temperature e je stade tignude disore de suee di 25 °C. I grafics cun corezions di temperature, ripuartâts tal paragraf daspò di chest, a considerin lis variazions unitariis di tension e di corint, disore de suee di 25 °C: 2, 22 mV/°C e 17 µA/cm<sup>2</sup> °C. Cheste dificultât e la no sigure certificazion dal prodot si rifletin ancje sul rindiment de fasse CA, che e considere la eficiencie dal inverter. Par chest component il colaut al ven facilmentri superât. Ducj i costrutôrs di inverter a declarin rindiments alts, superiôrs al 95%, cun fatôrs di potence cuasi unitarie, disore de suee fissade tai test di colaut dal 90%.

Par dutis chestis resons il legjislâtôr, par agevolâ lis operazions di colaut

e evitâ spietis masse lungjis e onerosis, al à decidût di acetâ tant che bon un colaut par un rindiment globâl compagn o superiôr al 75%, cun insolazion superiôr ai  $700 \text{ W m}^{-2}$ . O pensin che la suee di  $700 \text{ W m}^{-2}$  e sedi stade sielte parvie che si à viodût che sot di chest valôr la dipendence fra intensitât di radiazion e intensitât di corint no je liniâr.

Te part dal articul che e ven daspò, a vignaran presentadis lis produziions e discutûts i risultâts di trê piçui implants. A vignaran analizâts, par ordin di date, dal prin jentrât in ativitât al ultin. Par ognidun di lôr a son stâts monitorâts i dâts di produzion tal arc di une zornade cul timp seren stabil, par valutâ l'andament des cuatri grandecis carateristichis ( $V(V)$ ,  $I(A)$ ,  $I_r(\text{W m}^{-2})$ ,  $T(K)$ ) e il rindiment di conversion. I dâts di rindiment che a son domandâts dai Servizis Tecnicos regjonâi a son chei de fasse AC. I dâts de fasse CC a vengnin ripuartâts par confrontâju cu la potence de fasse CA, ven a stâi la potence sul cjamp FV, e cheste ultime e risulde diferente da la potence nominâl, in ducj i implants. Chest esit al tocje la delicade cuestion de definizion dal efefîf cost euro/watt che al fâs dipendî ducj i calcuî di tornecont economic dal investment. Su ducj i trê implants a son stâts ripuartâts i dâts corets in temperature.

#### **Notis sui grafics**

*Il rindiment p.p. dal cjamp FV sui ôrs CA e CC al ven calcolât cu lis formulis:*

$$rca\% = I/1000 \cdot (Pac/Ppm) \cdot 100; \quad rcc\% = I/1000 \cdot (Pcc/Ppm) \cdot 100$$

*n al è il numar di misuraziions;*

*l'interval di timp fra une misurazione e chê altre al varie dai 3 ai 15 minûts.*

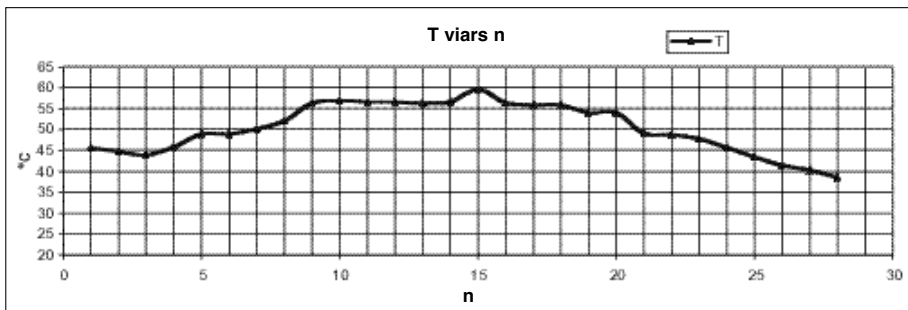
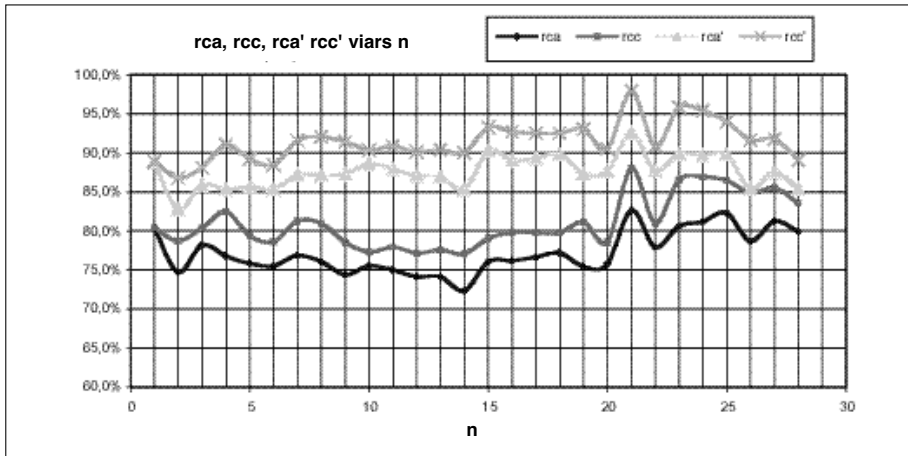
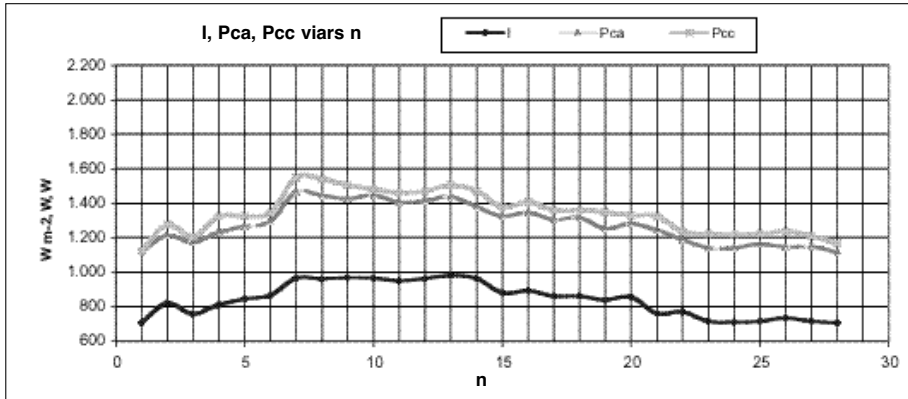
*Cjase L. Dalmasson.* Sun chest cuviert e je stade fate une azion di monitorament, cui dâts di produzion eletriche furnîts dal inverter (kWh, W e CO<sub>2</sub>) e i dâts di insolazion e temperature ( $\text{W m}^{-2}$  e  $^{\circ}\text{C}$ ), rilevâts a man cuntun solarimetri termometri<sup>37</sup>, inserînt inte aparecjature di Foto 4.1.

I dâts a son stâts rilevâts l'11.08.2004 da lis 10.30 a lis 15.30.

Fin te tarde matinade il soreli al è stât oscurât a moments dai nûi, po dopo il cîl al è stât seren.

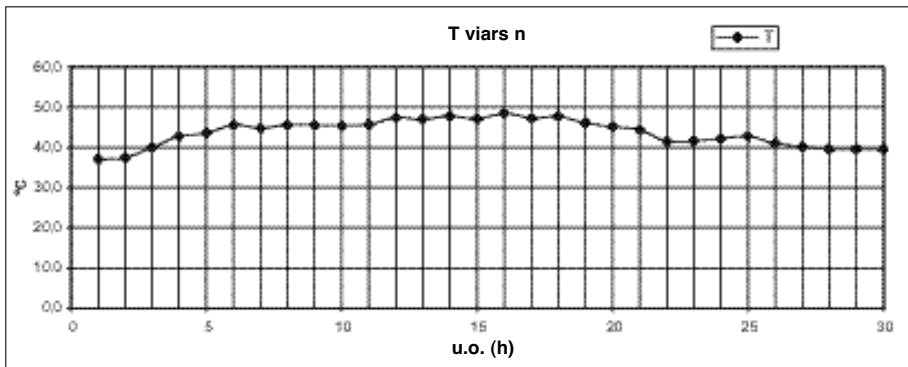
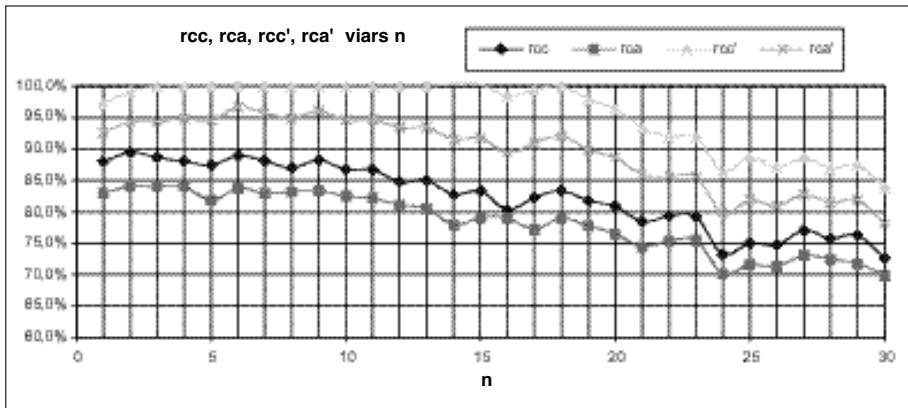
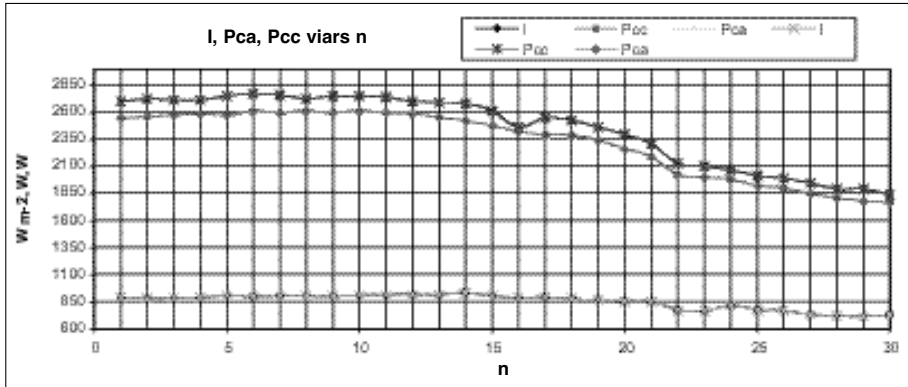
Il test di colaut da lis fassis de CA al è stât superât cirche intal 78,5% des misuris.

Il test di colaut da lis fassis de CC al è stât superât cirche intal 18% des misuris (tes oris dal dopomisdì).



Lis verifichis di colaut des fassis CA e CC a son stadis superadis cuntune corezion di temperature tal 100% des misuris.

*Cjase Cecotti S.* Sun chest cuviert e je stade fate une azion di monitorament compagne di chê di prime.



I dats a son stats rilevats in dos zornadis di condizions meteo compagnis: la matine dal 04.09.2004 da lis 13.25 a lis 16.55 e il 06.09.2004 da lis 10.15 a lis 13.00.

Ducj e doi i dats a vevin un cil seren cun bugadis di aiar, soredut il 04.09.

Il test di colaut des fassis CA al e stat superat di cirche il 73,3% des misuris (falt tes ultimis misuris dal dopomisdil).

Il test di colaut des fassis CC al e stat superat di cirche il 36,6% des misuris (intes oris de matine).

Lis verifichis di colaut des fassis CA e CC a son stadis superadis cuntune corezion di temperature tal 100% des misuris.

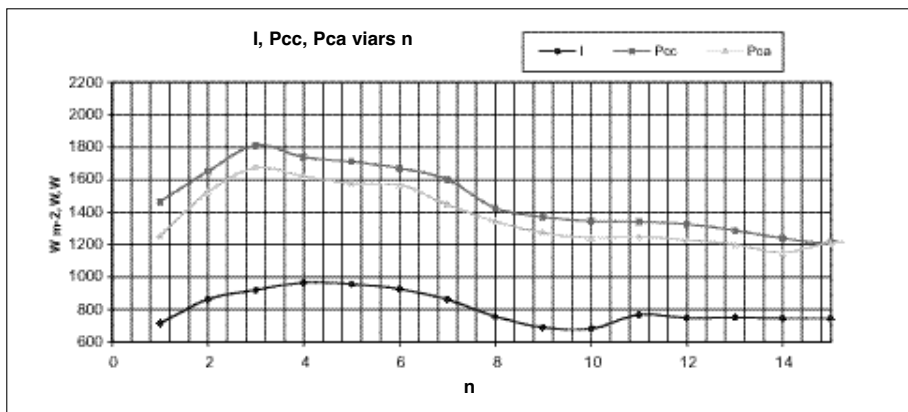
*Cjase Pozzetto S.* Sun chest cuviert e je stade fate une azion di monitorament cui dats di produzion eletriche furnits dal inverter (kWh, W e CO2), trasmetits sul scherm dal computer (viot Foto 5.1) e i dats di insolazion e temperature ( $W m^{-2}$  e  $^{\circ}C$ ) rilevats a man cuntun solarimetri termometri inserti inte aparecjature di Foto 4.1.

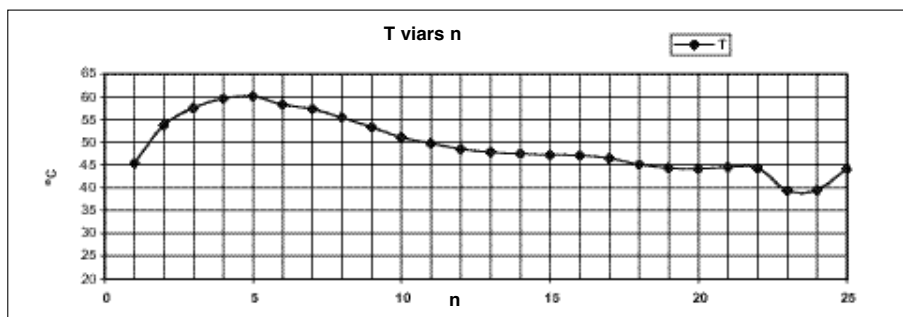
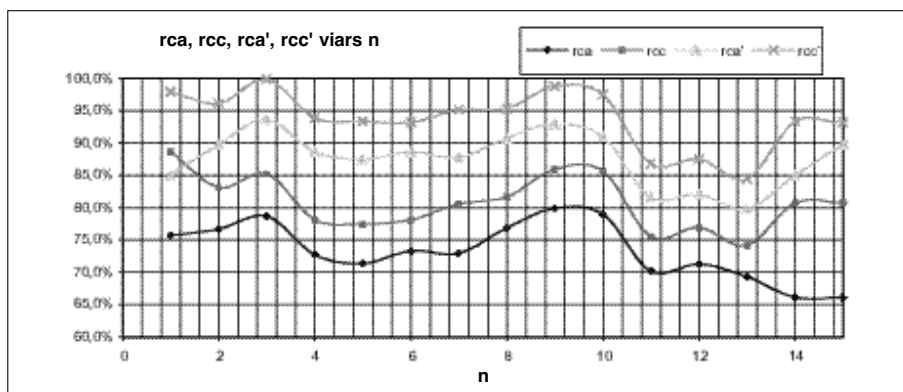
I dats a son stats rilevats il 09.08.2004 da lis 10.35 a lis 16.10.

Zornade serene e calme di aiar.

Il test di colaut des fassis CA al e stat superat di cirche il 24,0% des misuris (tes primis ore de matine e a mieç dopomisdil).

Il test di colaut des fassis CC al e stat superat di cirche il 14,2% des misuris (un par inte matine e un par tal dopomisdil).





Lis verificadis di colaut a son stadis superadis cuntune corezion di temperadure tes fassis CA dal 52,0% des misuris e tes fassis CC dal 16%.

*Conclusions.* Pûr cuntun monitorament no sistematic e suntun numar piçul di implants (trê di numar!), si pues tirâ cualchi conclusion che e à ce fâ çu la certificazion dai modui. In prin lûc, la potence nominâl no je cuasi mai tocjade in ducj e trê i implants, gjave il prin dulà che l'inverter al à tignût in memorie un dât pluitost dubi (in dôs situasions al varès superât la potence nominâl di 1,980Kw, tocjant i 2,010 kW e i 2,100 kW). I dâts rilevâts in automatic no son però di cjapâ par aur che al cole. Chest nus met denant di un interrogatîf tecnic-economic a rivuart de base di partence pe definizion dal presit in euro dal watt fotovoltaic. Chestis indicazions a son une vore impuartantis par proviodi i agns che a coventin par riscatâ l'investment. Come minim il costrutôr al varès di segnalâ une potence minime garantide, e sun chê contratâ il presit e descriveri tai certificâts il non dal laboratori e la da-



te dai tests fats sui modui<sup>38</sup>. Cence di chest no si puedin fâ i paragon che a coventin.

Podopo, nol è facil superâ la pûr basse suee di rindiment, fissade al 75%. Chest par vie dal scostament de potence nominâl di chê efetive e de temperadure. Tal câs di temperaduris une vore altis sul Si cristalin, e covente une corezion dai dâts di potence in temperadure e no simpri i furnidôrs a metin i coeficients di corezion in temperadure (viôt Tabele 3.1).

Al è ancje di disi che diviers aspjets fisics a son di profundî, se si vûl cognossi miôr cheste tecnologjie. Par esempi nol è ancjemò clâr parcè che il Si policristalin al patis di mancual la temperadure dal Si monocristalin. O ancje parcè che il policristalin al rint miôr dal monocristalin cu la lûs dal soreli calant.

O vin cirût di trai cualchi conclusion gjenerâl di cheste prime racuelte di dâts, ma par confermâju a coventaressin un metodi e une tecniche normalizade di racuelte, e ancje che si fasi une valutazion sistematiche di monitoraggio man a man che a vegnin fats sù gnûfs implants. Al è un compit dai orghins regionai, dal ENEA, dal Ministeri dal Ambient, chel di furnî i mieçs che a coventin par che si puedi programâ un quadri di ricercje adevuât, une cognossince plui slargjade par dâ rispuestis a lis cuestions viertis e podê cussì fâ une prevision smicjade da la reditività di cheste tecnologjie.

E in fin, o tignarès cont ancje des straordenariis oportunitâts che lis istituzions publichis a puedin cjarâ sù cun Internet: ven a stâi la pussibilitât di colegâ l'ordenadôr electronic (il pc) cu la schede dal inverter e il pc cu la rê di internet. Se ducj i implants FV a vignaran colegâts fra di lôr, si varà la pussibilitât di monitorâ in timp reâl la produzion. In cheste maniere i orghins publicis a varan pardabon la pussibilitât di valutâ in ogni moment la eficacie dai programs di sparagn energjetic e di meti a disposizion di tecnics e ingegnêrs dâts preseôs.

**8. Prospetivis technichis, economichis e politichis di sostegn a la diffusion da la tecnologjie FV.** In di di vuê l'argument de tecnologjie FV al è su la bocje di ducj ma par tant timp al è stât trascurât. I limits e i vantaçs dal sisteme dal contribût public in cont capitâl pe instalazion di cheste tecnologjie a son bielzà cognossûts. Fra i vantaçs al è chel di vê puartât la atenzion de opinion publiche suntune energie nete e "alternative" a chê tradizional e incuinante, ancje se no pues sedi considerade sostitutive, almancul

in tîmps curts. Di chest pont di viste il FV al è une sorte di spartiaghis fra un mût di produzion centralizât e un dulà che dongje de grande produzion si prudele une gnove gjenerazion di microproduotôrs, distribuîts sul teritori. Un passaç di un mût “dûr” di produzion a un plui “mol”, fondât su lis fonts rignuvibilis: il fotovoltaic al dopre la energjie radiante dal soreli, une font praticementri inesauribile, che no prodûs gas di sere. La energjie solâr e je difondude ecuementri so redut dulà che la incessite demografiche e je plui fuarte. Di bessole, vuê, e podarès jemplâ, a la nestre latitudin, il deficit di energjie de nestre Regjon. Si calcole che al sarès sufficient fâ sù un cjamp FV di cuatri kilometris cuadrâts, distribuît su cuvierts e terens passîfs, par risolti il probleme energetic. E alore, parcè il program “cuvieris FV” al fasie fature a partî? Tant che altris proviodiments come il “cont energjie”? Par reasons di spazi e di obietîfs di chest lavôr, si pues motivâ cul probleme dal cost de piastrele FV. Il FV, par vie de distance fra cost euro/watt de energjie electriche produsude dai modui FV e il cost euro/watt da lis centrâls termichis tradizionâls, al domande un sostegn public prime che la tecnologjie e deventi competitive cun altris fonts. Sot chest aspîet, la politiche dai contribûts in cont capitâl no si sta rivelant masse eficiente. Lis principâls causis a son:

- a) programs regjonâi no omogjenis, sedi par tant che al rivuarde lis cuotis di finanziament globâl sedi che par lis percentuâls sul cost unitari massim euro/kW ametudis a finanziament (inte Regjon Friûl Vignesie Julie il 75% cul prin bant tal 2001 e il 70% cul secont bant, tal 2003);
- b) un regolament pe formulazion de domande pôc clâr e onerôs, tant di domandâ l'intervent dai esperts;
- c) la lentece de burocrazie inte predisposizion des graduatoriis e podopo te rindicontazion dai fonts;
- d) la scjarse eficiencia dal gjestôr de rêt publiche di alimentazion (ENEL) tal fâ inlaçaments dai implants;
- e) une potence massime fissade a 20 kW, che e rint pôc convenient l'investiment pes impresis.

Par dutis chestis resons si cirin gnovis formis di incentîf public che a contribuissin par fâ nassi ancje in Italie une industrie dal fotovoltaic e gnovis figuris professionâls. Par chest aspîet si rivele une vore interessant il “cont energjie”. Cun cheste forme di finanziament, l'autoproduotôr al compre l'implant finît pal cost intîr e al vent la energjie produsude a un presit convenient. In altris Paîs europeans za fa di timp si à cjapât cheste strade mentri

che in Italie si sta anjemò discutint sul presit just e reidizi dal kWh. Un altri incentîf indiret al consist inte emission dai certificâts verts, o ben tal oblic de fasse dai grancj produtôrs, di produci une cuote part de energie totâl produsude doprant fonts rignuvibilis e netis, ven a stâi ancje di comprâle dai autoprodutôrs. Chestis misuris a son plui dîretementri colegadis a lis politichis internazionâls pe riduzion dai gas sere (Protocol di Kyoto). Cui che si è inviât sun cheste strade al è convint che, in prospetive, la cumbinazion di politichis finanziariis justis e il disvilup di dispositîfs fotoeletrics di gnove concezion tecnologjiche, cumbinâts cu lis pussibilitât di rêts di comunicazion di rindi flessibil il sisteme di produzion energjetic, a sorpassaran lis resistencis e lis perplessitâts che a frenin il disvilup dal setôr.

Ma chel che plui mi plâs di sotliniâ, in conclusion di cheste fature comunicative, al è che il piçul primât che o vin conseguît, di vê viodût un pôc prime e un pôc plui lontan, al nas di une vicende didatiche e di une passion sientifiche. Come che o vin za dit, tal 1999 al è stât celebrât Alessandro Volta e la sô invenzion de pile eletriche. In chê ocasion a son stadis organizadis conferencis e experiments publics cuntune pile fate sù di pueste par chel event. Cence di chê aventure, gjavade fûr des preocupazions di ogni dì, no si saressin mai inoltrâts in chest gnûf cjamp, no varès mai dedeât tancj dîs par cjapâ sù misuris, cence nissun fin se no chel di fâ miôr il mistîr di didate, di ricercjadôr e di consulent. No mi sarès sburtât a scrivi in lenghis diferentis e a comunicâ in cuatri congrès nazionai de AIF e de SStEF, su la in-cressite costante di atenzion viers lis prospetivis dal fotovoltaiç. O crôt in maniere ferme che cheste e sedi la strade di segnâ a la Regjon Friûl Vignesie Julie e a un Paîs pleât su se stes e malsigûr sul so destin. Soredut ai zovins, al è necessari segnâur une strade par lavorâ a meti adun ricercje e aplicazions, passion e risultâts economics; une circuitazion virtuose intun cjamp che al sedi bon di produci risultâts sodisfasints, inovazion e progrès.

*Ringraziaments:* A la dite Pozzetto Silvio Impianti elettrici Sas – dulà che al à passât la sô vite professionâl il fi d'art, amî e coleghe inz. Giorgio Pozzetto. La dite Pozzetto e à davuelt une funzion di pionîr tal setôr, compagnant la realizazion dai implants cun studis, valutazions e sostegn a la ricercje. Une atenzion particulâr e je stade pandude de societât AMGA Spa e dal p.i. Bruno Angeli che nus à compagnât a visitâ l'implant e furnît dâts preseôs. A lis fameis Dalmasson di Cuar di Rosacis e Cecotti di Cividât pe lôr disponibilitât. Al è stât in grazie dal lôr corajo e entusiasim che o vin podût fâ esperience sul stât de art e su la fidabilitât de tecnologjie. Al coleghe di Istitût Paolo Modotto pes discussions sui problemis tecnics di nature eletroniche. A Silvano De Rivo dal ITI "A. Malignani" che al à costruît lis parts me-

canichis dal prototip “Isule FV”. Ai components dal grup Agathos dal ITI “A. Malignani”: Rolando Carmassi, Giusto Claudio, Giampiero De Marchi, Rodolfo Moro, Gildo Solari e Giancarlo Toso. Cun lôr o ai passât une vore di timp par discuti il projet di ES&T (Educazion Sientifiche e Tecnologjiche) e par fâ sù i prototips pe produzion di energjie di fonts rignuvibilis. Une particolar indicazion di merit a Paride Cargnelutti, Assessor a la Istruzion de Provincie di Udin che al à vût simpri un voli di rivuart pai nestrîs obietifs. Al dot. Silvano Antonini Canterin e al Diretôr Lionello D’Agostini par il sostegn economic. Al inz. Cesare Silvi e Mario Gamberane dal ISES di Rome che mi àn furnîs lis primis notizis su la politiche dai bants e lis primis indicazions su la tecnologjie fotovoltaiche, bielzà tal 1999. Al p.i. C. Quaglia dal ENEA di Vignese e al p.i. G. Treppo dal CNA di Udin, cun lôr o ai colaborât pe organizazion de prime lezion tecniche pratiche “al viert” sui implants fotovoltaics. A Alessandra Fornaci e Claudio Mitolo dal projet “Il sole a scuola” dal ENEA, pal grant stimol e la pussibilitât che mi àn dât di tocjâ cun man e valutâ i risultâts dai implants storicis dal ENEA a Monteaquilone (Fg). Al inz. Maurizio Papetti dal Enerpoint e al inz. Vanes Vitali de Elettronica Santerno, simpri disponibii par furnîmi indicazions su lis carateristichis dai lôr prodots. A Mauro Masotti de dite Masotti Energia, pionîr da lis aplicazions dal fotovoltaic in Friûl e in Italie. Al dot. Dario Giaiotti de agenzie ARPA-OSMER dal Friûl Vignese Julie che e furnîs i dâts meteo al ITI “A. Malignani”. In fin a Robero Fieschi de Universitât di Parma, Lucio Fregonese de Universitât di Pavia, oms di sience e di pinsîr cognitîf che mi àn trametût stimui cu lis lôr ricerceis e cu la lôr passion sientifiche.

<sup>1</sup> La letare e je stade publicade daspò cualchi mêis in te *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* cul titul *On the electricity excited by the mere contact of conducting substances of different kinds* (note gjavade di *Alessandro Volta* di G. Polvani, Domus Galileana, Pisa 1942, ristampe anastatiche 1999, p. 340).

<sup>2</sup> E. Bequerel, *On electric effects under the influence of solar radiation*, *Compt. Rend* 1839, vol. 9, p. 561.

<sup>3</sup> Ven a stâi la famose tierce memorie *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt* (Emission e trasformazion de lûs dal pont di viste euristic), publicât tai *Annalen der Physik*, 1905, vol. 17 p. 132-148.

<sup>3</sup> Il diodi in efets al varès di clamâsi “transdiodi” parcè che al derive dal transistor, metint adun il coletôr cul emetidôr.

<sup>4</sup> Max Planck (1858-1947) al à esponût pe prime volte il postulât di cuantizazion de energjie, e al à spiegât la esistence de costante che e cjape il so non, il 14 di dicembar dal 1900, ai membrîs de “Deutsche Physicalische Gesellschaft” a Berlin.

<sup>5</sup> Par vê un “flus di corint” intal circuit eletric nol è suficient un contat fra lis superficiis di materiai

di diferentis speciis chimichis ma la sieraie dal circuit e scugne vignî zontriaviers un condutôr umit.

<sup>6</sup> Si dîs che la energjie di Fermi di una dade sostanza e je la energjie dal stât cuantic, che al à une probabilitât dal 50% di sedi ocupât di un eletron di valence. Ribaltant i tiermins, che un eletron di valence al à il 50% di probabilitât di ocupâ un stât cuantic di energjie e indipendentemeri da la temperadure. Ducj i puartadôrs di cjarie, cuntun nivel di energjie ator chel di Fermi, par jentrâ in conduzion a àn di superâ un “salt proibît” di energjie.

<sup>7</sup> La conduzion di corint intun diodi e ven a cirche 0,7 eV. Intune comissure polarizade diretemeri e inviersemteri la tension e ven a sedi un pôc plui grande e un pôc plui piçule di 0,7 eV.

<sup>8</sup> Lis aplicazions dai diodi a son une vore impuartantis intai modui FV e tai implants FV par blocâ lis pussibilis corints contrariis e pericolosis intes piastrelis FV.

<sup>9</sup> A 25 °C intal Si la fasse di energjie e je cirche di  $E_g = 0,7$  eV che e corispuint a une lungjece di onde  $\lambda_c = 2,88 \cdot 10^{-6}$  m (infraros).

<sup>10</sup> Par il Si-n i eletrons puartadôrs maioritaris a son in concentrazion  $n \approx 10^{17}$  e lis busis  $p \approx 10^4$ .

<sup>11</sup> Par une cjalade al stât de art su la tecnologjie

FV si pues consultâ la riviste *Isoleatrecentosessantagradî* (N. 10, novembar 2004) che si cjate in rêl tal sît [www.isesitalia.it](http://www.isesitalia.it).

<sup>12</sup> Vuê la produzion di piastrelis FV e dipent par largje misure de industrie eletroniche, stant che e dopre i siei scarts di produzion.

<sup>13</sup> Formule rigjavade de ristampe di P. Rappaport *The photovoltaic effect and its utilization*, citât inte bibliografie.

<sup>14</sup> La costante di Boltzmann e vâl  $k = 3,80 \cdot 10^{-23} \text{J} \cdot \text{K}^{-1}$ .

<sup>15</sup> Il valôr de cjarie dal eletron  $e = 1.60 \cdot 10^{-19} \text{C}$ .

<sup>16</sup> Inte literature e ven clamade ancje Ecuazion di Shockley.

<sup>17</sup> Intensitât di iradiament  $1000 \text{ (Wm}^{-2}\text{)}$ , masse di aiar  $AM = 1,5$ , temperadure de piastrele  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

<sup>18</sup> Par rivâ a cheste finalitât al è necessari inserî speciâi argagns electronics che a eseguisin automaticamenti l'adattamento dal caric. O viodarìn plui inde nant che tai implants che a àn ce fâ cu la rêl eletriche publiche (ENEL in Italie) il risultât si oten cul stes argagn (inverter), che al convertis la energieje eletriche de forme continue a chê alternade.

<sup>19</sup> Lis normis di colaut dai implants FV a imponin un rendimento des piastrelis FV di un modul no inferiôr al 85%, cuntune intensitât radiante superiôr a  $700 \text{ W m}^{-2}$ .

<sup>20</sup> Cheste note e rivuarde i implants a isule dulà che la energieje produsude da lis piastrelis FV e ven immaginate tai cumulatôrs.

<sup>21</sup> Si cite i dâts rigjavâts di trê fonts: 1) modul Pmp = 165W;  $-2,2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$  su Voc e  $+0,017 \text{ mA}/\text{cm}^2\text{ }^\circ\text{C}$  su Isc; 2) Pmp 158W;  $-0,348 \text{ mV}/^\circ\text{C}$  su Voc e  $+0,057 \text{ mA}/\text{cm}^2\text{ }^\circ\text{C}$  su Isc ( $-0,004 \text{ mA}/\text{cm}^2\text{ }^\circ\text{C}$  su Ipm e  $-0,474 \text{ mV}/^\circ\text{C}$  su Vpm); 3) modul 105W;  $-0,38\% /^\circ\text{C}$  su Voc e  $+0,10\% /^\circ\text{C}$  su Isc.

<sup>22</sup> Bant "Tets fotovoltaics", promovût dal Ministeri dal Ambient cul concurs de Region Friûl Vignesie Julie e de Provincie di Udin.

<sup>23</sup> Il soreli tai spazis fûr da la atmosfere, in condi-

zions AM0, si pues stimâ tant che un cuarp neri naturâl.

<sup>24</sup> Il Database che al furnis i dâts, che a vegnin spedîts a la direzion [agathos@malignani.ud.it](mailto:agathos@malignani.ud.it), al è chel dal dot. Dario Giajotti dal ARPA OSMER – FVG di Visc (Ud).

<sup>25</sup> Viôt la comunicazion "Dalla scoperta della pila elettrica alla legge di Ohm. Exhibit interattivo di storia, scienza e tecnologia". XXXIX Congrès AIF – Milazzo (inte bibliografie).

<sup>26</sup> Il controlôr programabil che al è stât doprât al è un Kloeckner Moeller, model PS3.

<sup>27</sup> L'inseguiment si à su doi as: un al corispont al inseguiment zornalîr e chel altri a chel stagjonâl.

<sup>28</sup> Il prin marcjât dal fotovoltaic al è stât chel spaziâl. Il prin satellit artificiaâl cun celis solârs al è stât lançât ai 17 di març dal 1958, inte suaze dal programe militâr USA Vanguard. Daspò al è vignût chel disore des platformis petrolifaris de Exxon tal Golf dal Messic.

<sup>29</sup> Tecnicamenti a vegnin scurtâts cul acronim SA (dal tiermin anglosasson *Stand Alone*).

<sup>30</sup> Ancje lôr a vegnin scurtâts cuntun tiermin jentrât tal ûs comun: GC (*Grid Connected*).

<sup>31</sup> Metint adun lis dôs siglis precedentis al ven fûr il tiermin scurtât: GC-SA.

<sup>32</sup>  $\Delta\text{Voc} = \text{Voc max} - \text{Voc min}$ .

<sup>33</sup> I dâts a son inzornâts a la comunicazion tignude tal ambit dal III Congrès da la SStEf, ai 16 di otubar dal 2004, a Gurize.

<sup>34</sup> Al è stât doprât il solarimetri SLM018C Mac Solar cun piastrele FV incorporate e tarade.

<sup>35</sup> *Cualitât e rese energetiche di moduli FV – Centri di Ricerche LEE – TISO*, riviste *FV L'elettricitât dal sole*, 1.2/2004.

<sup>36</sup> Al è stât doprât il solarimetri SLM018C Mac Solar cun piastrele FV incorporate e tarade.

<sup>37</sup> Lis normis di riferiment a son lis CEI/IEC 61215.