

# FUNICOLARE SOLARE MONTENERO – SANTUARIO SINTESI DELLA PRESENTAZIONE



## INDICE

Ing. Guido Pucci  
Direttore Esercizio Funicolare

## INDICE

A) PREMESSA

B) INTRODUZIONE

C) DESCRIZIONE IMPIANTO FOTOVOLTAICO

D) DESCRIZIONE AZIONAMENTI FUNICOLARE

1) Originario

2) Nuovo

E) FINALITA' DEL PROGETTO REALIZZATO

F) CONCLUSIONI

## A) PREMESSA

Nel 1906 fu costituita la Società Livornese di Trazione Elettrica, per operare nel settore dei trasporti pubblici di persone con la costruzione di una funicolare tra il Santuario in alto e la piazza delle Carrozze in basso, integrata da un'altra linea tranviaria per scendere verso Antignano, seguendo via delle Pianacce e via dell'Uliveta.

La funicolare fu inaugurata il 19 agosto 1908 e la sera stessa ebbe inizio anche l'illuminazione elettrica dell'abitato di Montenero.

Era la prima funicolare in Italia ad azionamento elettrico e le sue immagini presero ad accompagnare i saluti da Livorno.

Per oltre mezzo secolo, la funicolare fu il principale mezzo di trasporto per Montenero, fino a quando, nel 1963, fu costruita la strada panoramica per raggiungere direttamente il Santuario.

La vecchia Società di Trazione Elettrica ne mantenne la gestione fino al '72, cedendola poi all'Azienda municipale dei trasporti urbani.

La funicolare di Montenero, integrata nella rete di trasporto urbano di Livorno e con il sistema dei parcheggi di scambio, ha una capacità di trasporto di 580 persone/ora ed ha un'utenza di 250.000 passeggeri l'anno

Essa supera un dislivello di circa 111 metri, con pendenze massime del 18% su un percorso di 656 metri, calcolato in pendenza, con tre curve.

Ha un binario unico, salvo un breve tratto centrale raddoppiato per consentire lo scambio delle vetture.

Gli impianti, dopo un primo ammodernamento nel '79, furono completamente ristrutturati nel '90 ed ancora una volta la funicolare di Montenero fu la prima in Italia a funzionamento completamente automatizzato, per vettura da oltre 40 passeggeri senza conduttore a bordo e con un unico presidio di controllo nella stazione di Monte. Tutti i comandi di movimento sono oggi computerizzati.

Il percorso e gli accessi sono monitorati in continuo; l'integrità del fune traente è controllata da un dispositivo, che in Italia hanno due sole altre funicolari. La diagnostica delle sicurezze e di eventuali anomalie è controllata in tempo reale dall'operatore sui quadri comando.

Per salire a Montenero e al Santuario è il modo di trasporto più piacevole, veloce e sicuro, con la garanzia di un'assoluta tutela ambientale.

Quanto era stato previsto per il futuro di questo impianto, si è ora avverato con le implementazioni progettate nel 1999 (erano state oggetto di una apprezzata presentazione all'ottavo Congresso Mondiale dei Trasporti a Fune - OITAF 99) e realizzate nel 2000.

Le implementazioni in argomento sono consistite sostanzialmente in due filoni di intervento.

- 1) una autoproduzione di energia elettrica da fonte rinnovabile (fotovoltaica - solare) con riversamento in rete ENEL della stessa fino ad una potenza max di 20 Kw
- 2) una modifica degli azionamenti che permettessero un azionamento del motore principale sia con rete ENEL, sia con batteria di trazione.

In parallelo un nuovo azionamento di emergenza a trazione elettro - idraulica, anziché diesel - idraulica al fine di azzerare il livello di inquinamento prodotto dall'impianto funicolare sull'ambiente

A questi due "sub-progetti" si è aggiunta anche la stesura della fune di collegamento fra il campo solare ed il relativo inverter ed il quadro parallelo con la rete ENEL in B.T.

A questa fune si è poi aggiunto un cavo di trasmissione in c.c. direttamente dal campo fotovoltaico alle batterie, che potrà permettere, in caso di caduta della rete ENEL e relativo fermo dell'inverter, di caricare ugualmente la batteria di trazione, permettendo il funzionamento dell'impianto in caso di prolungata "assenza di rete" ed evitando altresì un inutile spreco dell'energia prodotta dai pannelli.

I finanziamenti per il subprogetto 1 sono stati conferiti da U.E., Comune di Livorno, SEI ed ATL, mentre per il subprogetto 2 si sono avuti finanziamenti dalla Regione Toscana, dal Ministero dell'Ambiente e, naturalmente, dall'ATL.

Il costo complessivo è stato di 1.4 Miliardi oltre IVA, finanziati per quasi 300 Milioni da ATL.

## B) INTRODUZIONE

La problematica dello "Sviluppo Sostenibile" in un contesto, cioè, ove il miglioramento della qualità ed affidabilità del servizio si deve incontrare con la riduzione dei livelli di inquinamento ambientale è stato ed è per l'Azienda Trasporti Livornese, ATL, un "must" che va perseguendo da diversi anni.

La consistente flotta di bus elettrici Gulliver della Tecnobus (10), utilizzati nel centro cittadino già su tre distinte linee, con gradimento crescente dell'utenza, ne è una valida testimonianza.

Così pure la lungimirante politica di realizzazione di parcheggi "di scambio", ove l'utente, può, oltre che utilizzare il mezzo pubblico, a trazione elettrica o diesel, noleggiare uno delle 25 autoelettriche PORTER della Piaggio, per "penetrare" il centro, con una serie di vantaggi logistici e soprattutto una emissione nulla di sostanze nocive, né è un'ulteriore testimonianza.

Come lo sono pure, i progetti realizzati ed in corso di realizzazione di costruire una propria "autonomia energetica", basata sulle fonti rinnovabili, prima fra tutte la fotovoltaica, contribuendo con ciò al raggiungimento di uno dei parametri - obiettivo del Piano Energetico Regionale (PER) , approvato con delibera Regionale n. 1 del 18/01/2000, in atto: cioè 6 MWp di potenza installata fotovoltaico con una riduzione di CO2 pari a 2000 tonn. annue, entro il 2010.

La funicolare solare con il "suo campo fotovoltaico" da 34.8 Kw solari, pari a circa 20 Kw elettrici, ora realizzato, ed il futuro campo fotovoltaico da 60 Kw solari da realizzare sui tetti dei capannoni di manutenzione, utilizzati da ATL, e destinati alla ricarica dei bus elettrici, attraverso il solito "versamento" in rete ENEL rappresentano le prime "pietre miliari" poste in tal senso.

E' chiaro che questa è una sfida per una media azienda di trasporto, quale è ATL. Vi sono state infatti non solo le difficoltà realizzative e burocratiche, da superare, ma anche le problematiche non trascurabili connesse alla gestione ed al monitoraggio sia degli impianti di produzione, che degli utilizzatori interni. D'altronde in questa fase storica di trasformazione delle aziende di trasporto, considerate lente, inette, inefficaci, obsolete nelle tecnologie applicate, questo evento vuole essere per ATL e cioè per il personale, che in essa vi opera, una dimostrazione di volontà nell'essere al passo con i tempi, nel realizzare progetti ed idee, che vadano nella direzione dei propri utenti/clienti, migliorandone la qualità della vita o per lo meno contribuendo a fare ciò.

L'impegno che ci aspetta nei prossimi mesi, è gravoso, in quanto che, dopo aver effettuato l'opera con leggero ritardo sui tempi previsti, (tre mesi, non dipendenti peraltro dalla nostra volontà), si dovrà ora effettuare un periodo di monitoraggio dell'impianto, al fine di ottimizzare un intervento sul piano teorico di grande spessore.

Al di là, infatti, del numero di Kwh generabili in un anno (45-48000 Kwh anno), riteniamo che questo intervento abbia una grande valenza simbolica, mostrando in concreto come, anche in un contesto modesto, la volontà di raggiungere un obiettivo in tempi ragionevoli abbia costituito la spinta per un gruppo di lavoro eterogeneo, ma motivato, che ha raggiunto il target prefissato in tempi accettabili e superando composite e molteplici difficoltà.

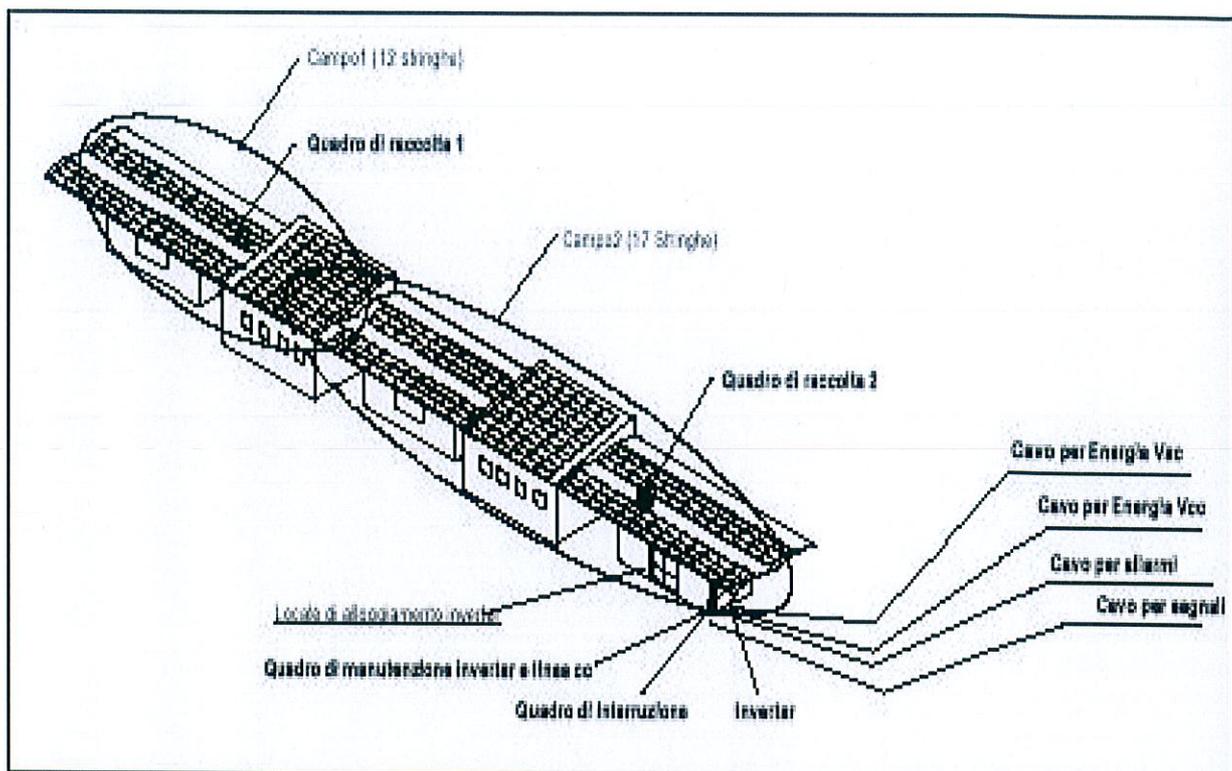
## C) DESCRIZIONE IMPIANTO FOTOVOLTAICO

### 1) Schema e caratteristiche pannelli solari

Il "cuore" dell'impianto fotovoltaico è costituito da 348 pannelli solari, tipo Photowatt PWX100, collegati in 29 "stringhe", in parallelo, a loro volta riunite in due sottocampi di 17 e 12 stringhe ciascuno (vedi fig. 1 e 2 ), installato attraverso un subfornitore della ditta SEI - Sistemi Energetici Integrati - S.r.l. di Prato, partner ATL nella realizzazione



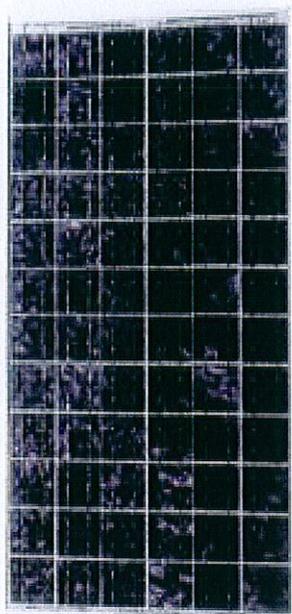
*Figura 1*



**Figura 2- il "tetto fotovoltaico" del fabbricato servizi parcheggio**

Ciascuna stringa ha poi 12 pannelli solari collegati in serie.  
 Ogni pannello, ha misure 1335x675x45 mm. (lunghezza x larghezza x profondità),  
 per un peso di 10,5 Kg, e produce 100Wp (watt di picco) a 24 volt (vedi fig. 3 e 4)

## PW 1000



### Large Scale Power Module

Our 20 years of experience in supplying modules all over the world ensures the reliability of our products.

This module is designed with an optimum configuration that fulfills the most demanding PV applications, including high voltage grid support systems.

### Delivered Fully Configured

This new product configuration meets the high standards of the professional consumer in a light-weight, highly reliable package.

### Special Features and End Uses:

- Telecommunications
- Cathodic Protection
- Water Pumping
- Signaling
- Rural Electrification
- Private Residences
- Commercial Buildings
- Grid Connected large scale systems

 **PHOTOWATT**  
INTERNATIONAL S.A.

is a subsidiary of

**Matrix**  
ENERGY SOLUTIONS

**Figura 3 - Pannello fotovoltaico impiegato**

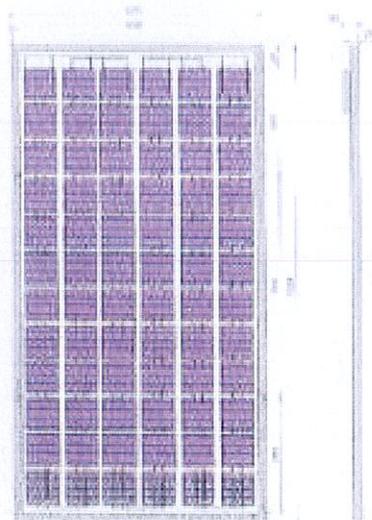
## Characteristics

### PW 1000

The PW 1000 series modules use Photowatt's multicrystalline technology. The 200 micron solar cells are individually characterized and electronically matched prior to interconnection. Encapsulation beneath high transmittance tempered glass is accomplished using an advanced UV resistant thermal setting plastic. The encapsulant, ethylene vinyl acetate, cushions the solar cells within the laminate and ensures the operating characteristics of the solar cell under virtually any climatic conditions. The rear surface of the module is completely sealed from moisture and mechanical damage by a continuous high strength polymer sheet.

The glazified construction of the module minimizes weight while providing a durable, protective environment for the solar cells.

The product is configured for 24 Volt system operation. A 12/24 Volt version is also available upon request. Bypass diodes are factory mounted to protect the module against reverse current. Additionally, this module can be configured into a panel at the factory and pre-wired to guarantee best performance.



Typical Power	Minimum Power (P <sub>min</sub> )	Voltage @ P <sub>max</sub> Power (V <sub>mp</sub> )	Current @ P <sub>max</sub> Power (I <sub>mp</sub> )	Short Circuit Current (I <sub>sc</sub> )	Open Circuit Voltage (V <sub>oc</sub> )
105	100.1	34.6 (17.3)	3.03 (1.1)	3.35 (5.1)	43.2 (21.4)
100	95.1	34.4 (17.2)	2.9 (5.0)	3.0 (6.0)	43.2 (21.6)
95	90.1	34 (17)	2.8 (5.6)	2.91 (5.3)	43.2 (21.6)
90	85	33.6 (16.8)	2.7 (5.4)	2.8 (5.6)	43 (21.5)

Figures in parentheses are valid for a 12 Volt configuration.

STC Att.: 1000 W/m<sup>2</sup> 25°C

Limited warranty of 25 years.

Weight: 10.5 kg

Photowatt International S.p.A. certifies ISO 9001  
This module is UL listed (UL 1703)

Packaging per 2 Units  
Dimensions: 1800 x 700 x 70 mm  
Weight: 21 kg

Because of the small advances made in the high-tech components we reserved the greatest accuracy to our technical staff, we hereby modify the characteristics of the products presented in this document without notice, warranty conditions we are affected by such changes. (24/97)

**Matrix**  
Energy Technologies

91 Via 456  
31050 Montebelluna (TV) Italy  
0422  
Tel: +39 0422 414141  
Fax: +39 0422 414141

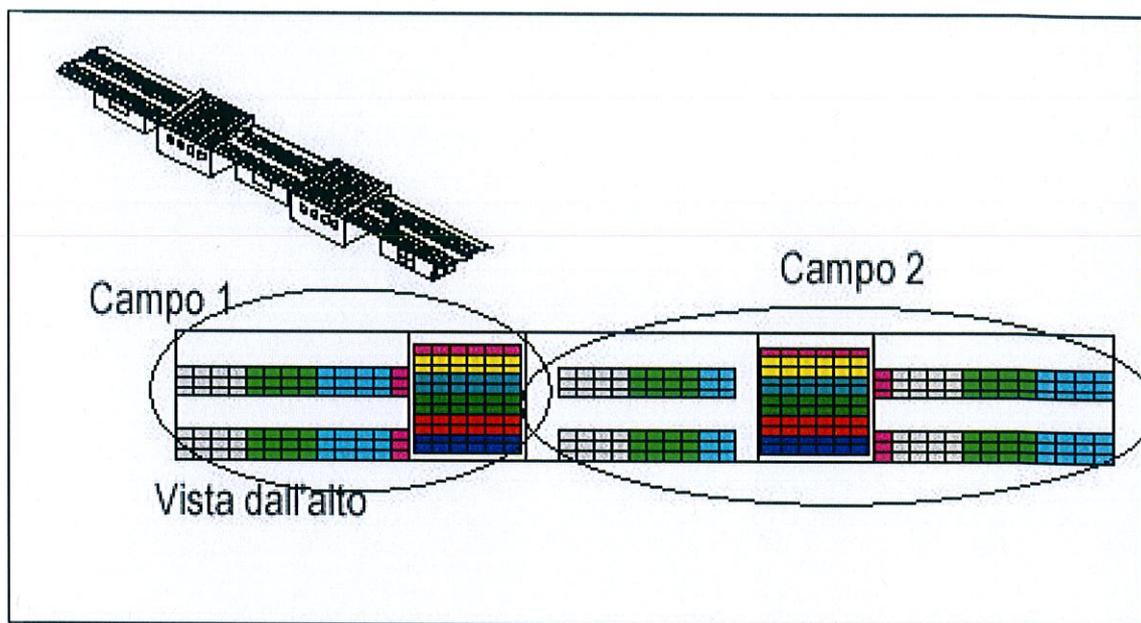
**PHOTOWATT**  
INTERNATIONAL S.p.A.

11 Via San Marco - 21, Chianciano  
53030 Chianciano Terme - Siena  
Tel: +39 0577 21 1111  
Tel: +39 0577 21 1111  
www.photowatt.com

Figura 4 - Caratteristiche del pannello

## 2) Connessioni elettriche

I pannelli raggruppati nei due sottocampi predetti fanno capo a due "raccoglitori o convogliatori" di corrente, ove è possibile anche intervenire per isolare le singole stringhe (fig. 5).



**Figura 5 - sottocampi fotovoltaici**

I due convogliatori, a loro volta, sono collegati ad un dispositivo collettore globale, collegato alla macchina inverter.

Considerando la variabilità dell'insolazione alla latitudine di Livorno, variabile dai 2.39 Kwh/m<sup>2</sup> giorno del mese di dicembre ai 6.92 Kwh/m<sup>2</sup> giorno di luglio, si può stimare una produzione annua per Kw installato pari a 1300 -1400 Kwh. Questo significa che per i 34.8 Kw installati a Montenero si può prevedere una produzione stimata oscillante fra 45,2 e 48,72 Mwh annui

## 3) Macchina Inverter

Si è installato un gruppo di conversione DC/AC per impianto fotovoltaico da 36 kW, costruito dalla Elettronica SANTERNO S.p.A.

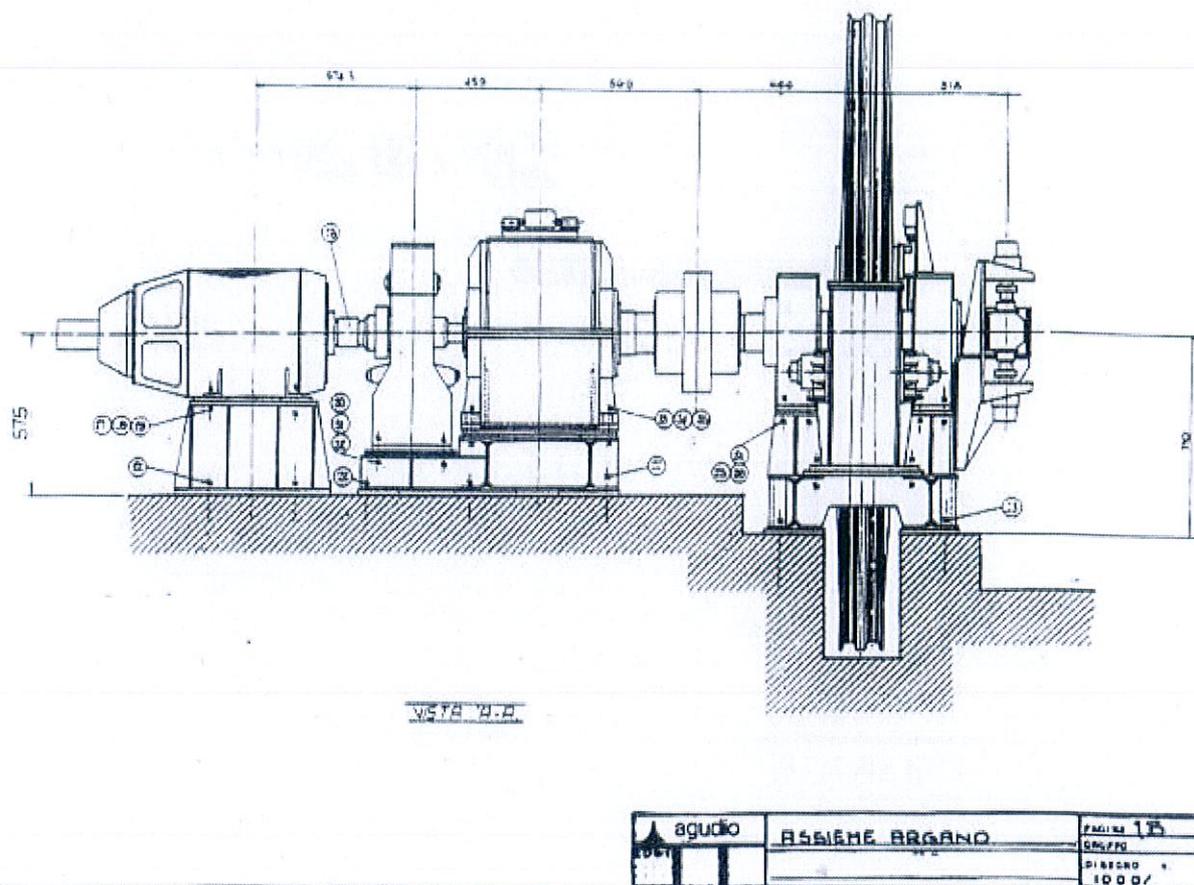
Il gruppo di conversione DC/AC (inverter) è a commutazione forzata ed è progettato per il trasferimento in rete AC trifase 50 Hz, in bassa tensione (380v), dell'energia prodotta dal campo fotovoltaico.

Il generatore fotovoltaico è collegato alla rete elettrica locale in bassa tensione 380 V: è presente un dispositivo d'interfaccia (DV604). L'alimentazione ausiliaria dell'inverter è fornita direttamente in loco: 230 Vac

## D) DESCRIZIONE DEGLI AZIONAMENTI DELLA FUNICOLARE

### 1) La situazione originaria

Nella figura 7, si possono vedere i principali componenti che si trovano nella sala macchine , ubicata nella stazione di monte: motore elettrico, il riduttore, il disco metallico con i freni di servizio e modulati, le pulegge motrice e condotta.



**Figura 6**

Il motore elettrico in c.c. (48 Kw, 400 volts, 1500 giri/min.) aziona (fig. 6) attraverso un riduttore di giri (15000/46), la puleggia principale, sulla quale si avvolge la fune traente collegata alle vetture, a mezzo di un "tamburello oscillante"



completa sorveglianza remota dell'impianto grazie a numerose telecamere poste in linea e nelle stazioni, la possibilità di richiedere una fermata intermedia, ecc.

Dal punto di vista dell'esercizio, l'impianto si segnala per un costo di gestione contenuto, caratteristico del sistema funicolare in generale e, nello specifico, conseguente all'elevata automazione e alle ridotte esigenze di manutenzione del macchinario.

## **2) Descrizione del nuovo azionamento**

In questo quadro originario si è inserito il progetto, finanziato in parte dalla Comunità Europea, che ha permesso l'installazione di un campo a celle fotovoltaiche a poche centinaia di metri dalla stazione motrice a monte dell'impianto e la modifica dell'azionamento funicolare. Il primo intervento è stato effettuato dalla Società SEI di Prato, coadiuvata da Photowatt SA per i pannelli solari ed Elettronica SANTERNO per l'inverter; il secondo intervento è stato realizzato dalla POMA ITALIA S.p.A., coadiuvata principalmente dall'ANSALDO Sistemi Industriali S.p.A., unità operativa BMV - ISE.

La produzione di energia elettrica generata da questo campo fotovoltaico si riversa nella rete ENEL, per una potenza massima di 20 Kw e per una produzione annua stimata di 45/48 Mwh, considerando le perdite, mentre l'eccedenza viene impiegata per la ricarica della batteria di trazione ed il gruppo di continuità dedicato ai servizi.

La batteria di accumulatori elettrici al piombo è costituita da 200 elementi, collegati in serie, ha una tensione nominale di 400 v, una capacità di 300 Ah alla scarica in 10 ore.

Ai fini dell'impianto funicolare l'inserimento del campo fotovoltaico si concretizza in una linea d'alimentazione trifase supplementare con la quale alimentare:

- il quadro carica batterie di potenza dedicato alla batteria di cui sopra;
- un gruppo di continuità UPS di potenza sufficiente all'alimentazione di tutte le utenze dell'impianto compresa l'illuminazione della linea e la stazione di valle.

Per quest'ultima funzione è stata prevista la posa lungo la via di corsa di un conduttore di collegamento monte - valle dove, con un apposito quadro elettrico dotato delle usuali protezioni, si può selezionare la sorgente di alimentazione più opportuna fra la rete o la linea proveniente dall'UPS di monte.

Per la caratteristica erogazione d'energia, l'utilizzazione del campo fotovoltaico impone come detto l'installazione di un potente accumulatore. E' noto infatti come i generatori solari generino costantemente energia in cc con valori di corrente, per ragioni di costo di impianto, obbligatoriamente limitati

Questa caratteristica è purtroppo in contrasto rispetto alle esigenze di poter accumulare energia in eccesso durante le soste per poi utilizzarla, anche ad alte correnti di punta, durante il moto dell'impianto. La regolazione dell'energia, prelevata dall'accumulatore e fornita al motore principale in cc, è realizzata da un convertitore chopper cc- cc.

Il funzionamento mediante batteria di accumulatore e convertitore cc - cc, costituisce una tecnologia consolidata e collaudata in molti impianti funicolari di recente realizzazione (Funicolare Centrale di Napoli, Funicolare di Catanzaro, Funicolare di Capri)

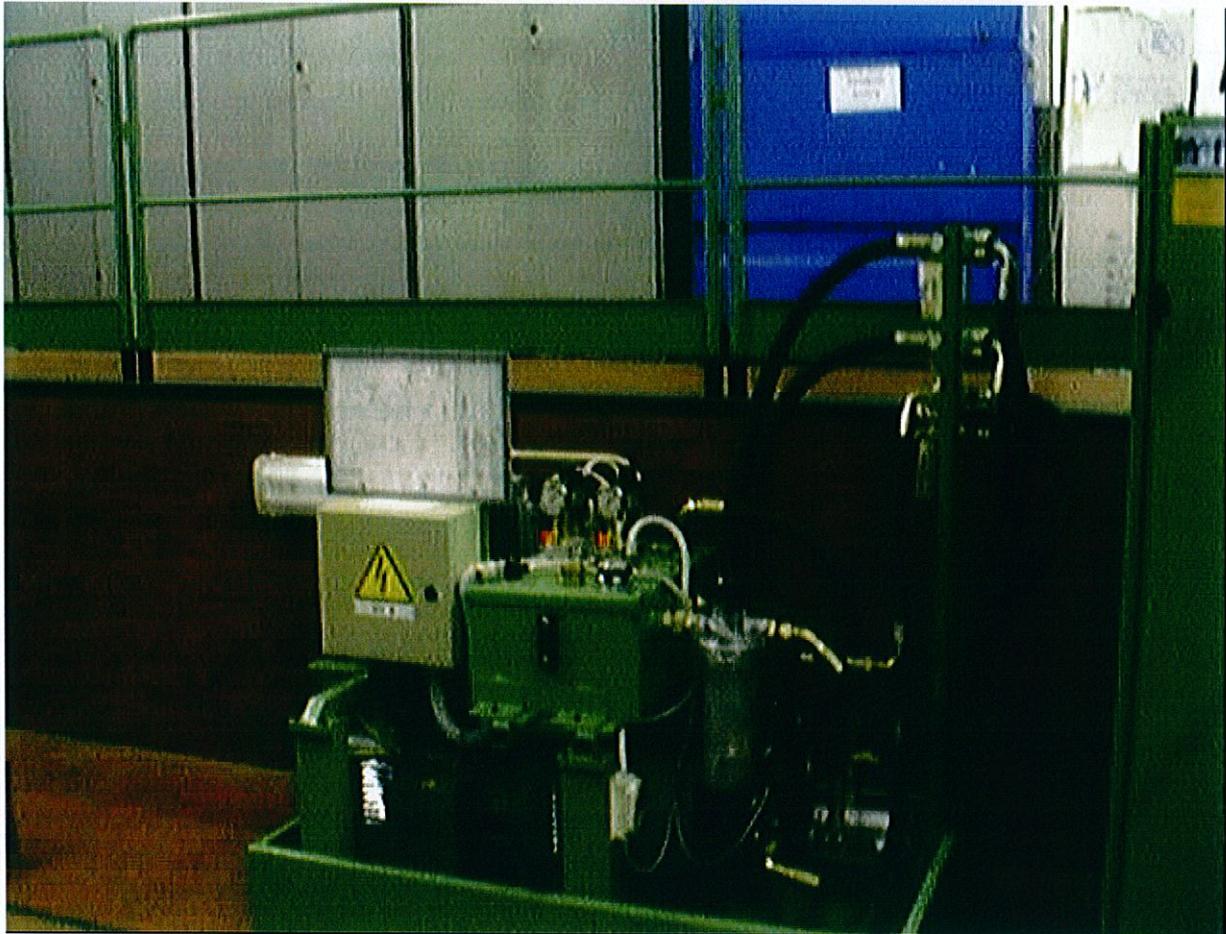
L'adozione di accumulatori consente inoltre il recupero sugli stessi dell'energia resa dall'impianto nelle condizioni di carico in discesa ed in decelerazione; energia che prima era re-immessa nella rete ENEL.

Il nuovo azionamento chopper si affianca all'esistente principale alimentato da rete che è mantenuto in opera

L'alimentazione del motore principale potrà quindi essere effettuata mediante tradizionale convertitore statico ca - cc alimentato da rete, o da chopper cc - cc alimentato dagli

accumulatori; la commutazione è resa possibile mediante un commutatore di potenza manuale posto a bordo armadio chopper.

Con la disponibilità di una sorgente alternativa d'energia e con lo scopo di facilitare e velocizzare le operazioni di recupero evitando la fase di riscaldamento del motore termico diesel, si è ritenuto opportuno sostituire quest'ultimo con un motore elettrico in cc da 30 Kw (Fig 8)



**Figura 8 – Motore di emergenza**

Anche questo nuovo motore in cc è alimentato in modo diretto dalla batteria.

Per consentire agli operatori dell'impianto un controllo efficace sugli stati di funzionamento così come visualizzare i parametri principali quali; assorbimento, velocità, pressione freni, indicatore di percorso, dazi, stato di carica della batteria, predisposizioni impianto e molti altri, è stato installato un nuovo PC dedicato alla supervisione e alla diagnostica dell'intero impianto, con un software più completo (Fig. 9).



**Figura 9 - PC di processo**

Infatti una pagina grafica è dedicata alla visualizzazione dei parametri di funzionamento del quadro di parallelo fra campo fotovoltaico e rete, mentre i sinottici per individuare e localizzare i guasti sono più dettagliati ed analitici.

Sullo stesso PC è installato il software "registratore di eventi", e pertanto l'attuale obsoleto sistema "falco 2" è stato dismesso

Nello schema unifilare di fig. 11 è rappresentata la generalità dell'impianto completo della parte fotovoltaica, mentre nello schema a blocchi di fig. 10 è realizzata una schematizzazione di più immediata comprensione per i non addetti

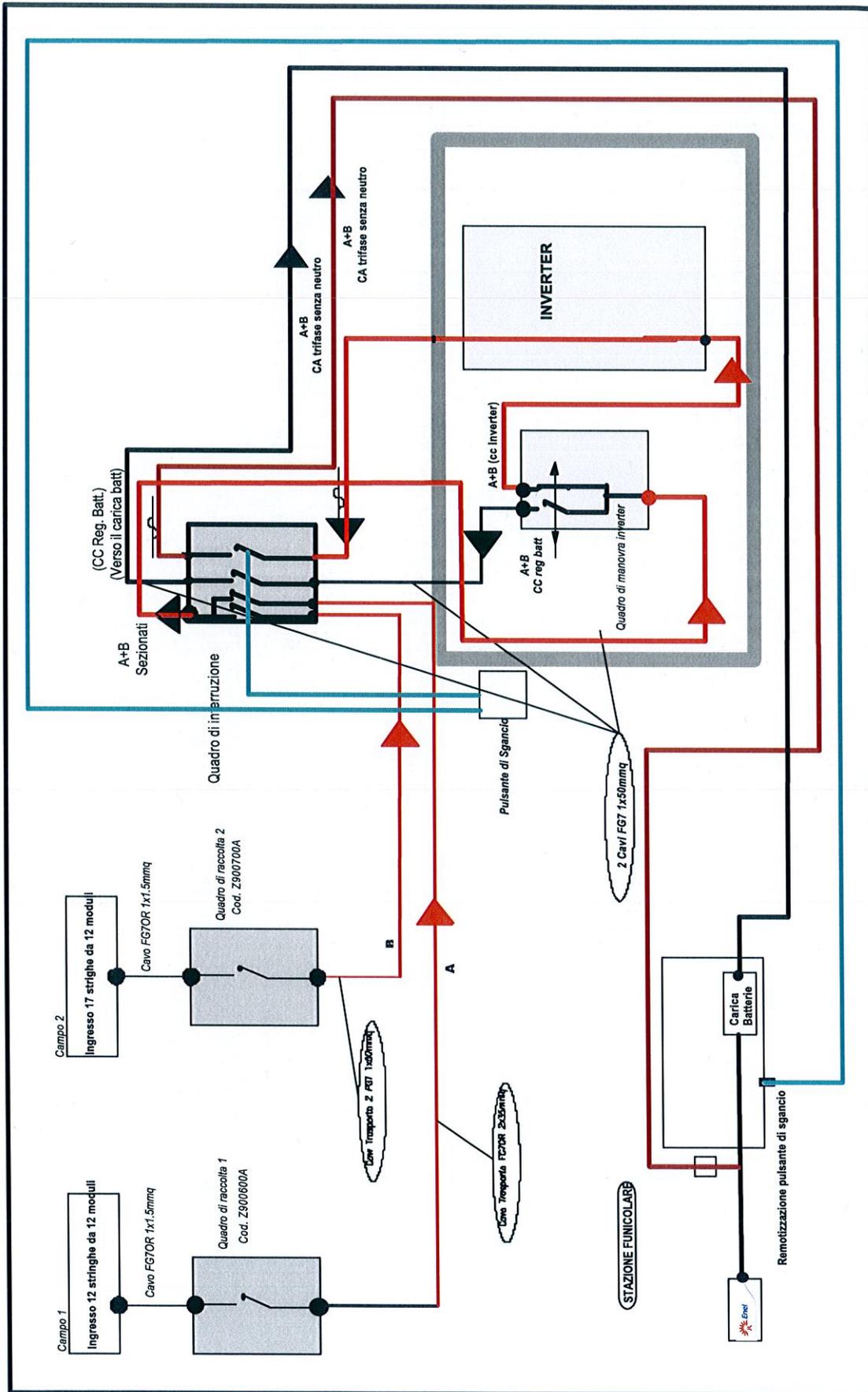


Figura 10



## E) FINALITA' DEL PROGETTO

Lo scopo del progetto è produrre energia per alimentare la funicolare, risolvendo così alcuni attuali problemi, quali:

1. ottenere una continuità di servizio, anche in caso di mancanza di corrente o cadute di tensione sulla rete ENEL, senza dover ricorrere al motore diesel ausiliario
2. migliorare la sicurezza di esercizio, evitando che gli utenti della funicolare camminino lungo il sedime della funicolare stessa, allorché, per mancanza di corrente, sono costretti a scendere dalla vettura potendo ora effettuare il recupero della vettura carica in stazione
3. ridurre i costi di gestione, quando, in caso di fermo della funicolare, si è costretti ad attivare un servizio sostitutivo su gomma
4. completo utilizzo dell'energia prodotta dal campo fotovoltaico
5. progetto flessibile e modulare in prospettiva di utilizzo anche in altre applicazioni

Nello stesso tempo, si potranno:

6. utilizzare fonti energetiche "rinnovabili" per l'azionamento di un impianto funiviario (prima esperienza a livello mondiale, che è stata presentata al congresso OITAF99 degli impianti a fune
7. realizzare un'integrazione architettonica fra l'impianto di parcheggio, struttura servizi, e la parte tecnologica costituita dal "campo di pannelli fotovoltaici"
8. costituire un esempio pilota per l'opinione pubblica per evidenziare la possibilità di realizzare sistemi di trasporto a risparmio energetico ed ad impatto ambientale quasi nullo.
9. azione di marketing promozionale sia in campo di risparmio energetico, che ambientale
10. Verifica con l'Ente Nazionale Energia Elettrica di tutte le problematiche tecniche amministrative e di sicurezza connesse al collegamento in parallelo ed alla autoproduzione di energia elettrica. La complessità del "punto di scambio" ATL – ENEL è ben rappresentato dal vano contatori di cui alla fig. 12



*Figura 12 – “Punto di scambio energetico ATL – ENEL” vano contatori stazione di monte*

## F) CONCLUSIONI

Il progetto realizzato è per ATL un grande risultato tecnico - organizzativo, ma anche un punto di partenza per lo sviluppo di altre idee ed altri progetti.

In prima istanza dovrà essere eseguito un attento monitoraggio del funzionamento dell'impianto a fronte delle due "autoproduzioni energetiche" impiegate: il fotovoltaico ed il recupero "elettrico" dell'energia meccanica prodotta in discesa dalle vetture della funicolare.

Da questo monitoraggio ci aspettiamo anche risposte, che ci auguriamo positive sulla longevità della vita della batteria di trazione (In questo le esperienze delle funicolari di Capri e Napoli ci tranquillizzano).

Si dovrà anche verificare la funzionalità dell'impianto e la semplicità di gestione, a fronte della complessità introdotta. Si dovranno approntare metodologie di approccio sia tecnologiche, sia di marketing sociopsicologico per incrementare la difesa dagli atti di vandalismo sui pannelli solari.

In prospettiva si potrà anche riconsiderare la convenienza ad utilizzare in parte l'energia autoprodotta, considerata " pregiata " e quindi di maggior valore nella " Borsa dell' energia", e quindi valutare l'opportunità di venderla tutta al Gestore Unico della Rete

Quest'ultimo aspetto sarà ovviamente funzione dello sviluppo legislativo nel settore, che è in costante evoluzione