

Università degli Studi di Genova Centro di Servizi Interfacoltà del Polo Universitario di Savona Savona, Italia

**Progettazione Preliminare,
Definitiva ed Esecutiva, per la
Realizzazione di un'Infrastruttura
Sperimentale-Dimostrativa di
Poligenerazione Denominata
“Smart Polygeneration Microgrid”**

**Progetto Esecutivo
Relazione Generale**

Università degli Studi di Genova Centro di Servizi Interfacoltà del Polo Universitario di Savona Savona, Italia

**Progettazione Preliminare,
Definitiva ed Esecutiva, per la
Realizzazione di un'Infrastruttura
Sperimentale-Dimostrativa di
Poligenerazione Denominata
"Smart Polygeneration Microgrid"**

**Progetto Esecutivo
Relazione Generale**

Preparato da	Firma	Data
Alessandro Venturin		Maggio 2012
Andrea Podestà		Maggio 2012
Controllato da	Firma	Data
Gianluca Cassulo		Maggio 2012
Approvato da	Firma	Data
Claudio Mordini		Maggio 2012
Sottoscritto da	Firma	Data
Roberto Carpaneto		Maggio 2012

Rev.	Descrizione	Preparato da	Controllato da	Approvato da	Sottoscritto da	Data
1	Seconda Emissione	ALV/ANP	GIC	CSM	RC	Maggio 2012
0	Prima Emissione	ALV/ANP	GIC	CSM	RC	Aprile 2012

INDICE

	<u>Pagina</u>
ELENCO DELLE TABELLE	II
ELENCO DELLE FIGURE	II
ELENCO DELLE TAVOLE (FUORI DAL TESTO)	II
1 INTRODUZIONE	1
2 QUADRO DI RIFERIMENTO	4
2.1 CONFIGURAZIONE ATTUALE DEL CAMPUS	4
2.1.1 Impianti	4
2.1.2 Analisi Idro-Geologica del Sito	5
3 LA SMART POLYGENERATION MICROGRID	6
3.1 LAYOUT DEL SISTEMA	7
3.2 IMPIANTO SOLARE FOTOVOLTAICO	9
3.3 IMPIANTO CSP	10
3.4 MICROTURBINA COGENERATIVA	12
3.5 SISTEMA FRIGORIFERO AD ASSORBIMENTO ED ACCUMULO TERMICO	13
3.6 ACCUMULO ELETTRICO	14
3.7 STAZIONI DI RICARICA VEICOLI ELETTRICI	15
3.8 PREDISPOSIZIONI PER FUTURI IMPIANTI MICRO-EOLICI	15
3.9 AUTOMAZIONE E CONTROLLO DEL SISTEMA	15
3.10 UTILIZZO DI COMPONENTI PREFABBRICATI	16
3.11 INTERAZIONE CON I SOTTOSERVIZI	16
4 ASPETTI ECONOMICI E FINANZIARI	18
4.1 COMPUTO METRICO ESTIMATIVO	18
4.2 LAVORI IN APPALTO E LAVORI IN ECONOMIA	19
5 BILANCI ENERGETICI	20
5.1 CONSUMI ATTUALI DEL CAMPUS	20
5.1.1 Consumi Termici	20
5.1.2 Consumi Elettrici	21
5.2 STIMA DELLA PERFORMANCE ECONOMICO-ENERGETICA	22
5.2.1 Cogenerazione e Trigenerazione	23
5.2.2 Impianto Fotovoltaico	27
5.2.3 Impianti CSP	27
5.2.4 Isolamento Copertura Palazzina Delfino	28
5.2.5 Incidenza Complessiva della SPM sui Bilanci Energetici del Campus	29

ELENCO DELLE TABELLE

<u>Tabella No.</u>	<u>Pagina</u>
Tabella 4.1: Computo Metrico Estimativo	18
Tabella 5.1: Consumi Mensili di Gas Naturale (Dati in MWh)	20
Tabella 5.2: Potenza Media su 12 Ore di Funzionamento degli Impianti Termici (kW)	21
Tabella 5.3: Energia Elettrica Consumata nel 2010 (MWh)	21
Tabella 5.4: Potenza Media Consumata nel 2010 nelle tre Fasce (kW)	22
Tabella 5.5: Parametri Economici ed Energetici Comuni	23
Tabella 5.6: Parametri Economici ed Energetici Impiegati	24
Tabella 5.7: Cogenerazione e Stato Attuale – Aspetti Energetici (Valori Annuì)	25
Tabella 5.8: Cogenerazione e Stato Attuale – Aspetti Economici (Valori Annuì)	25
Tabella 5.9: Parametri Impiegati per la Trigenerazione	25
Tabella 5.10: Trigenerazione e Stato Attuale – Aspetti Energetici (Valori Annuì)	26
Tabella 5.11: Trigenerazione e Stato Attuale – Aspetti Economici (Valori Annuì)	26
Tabella 5.12: Fotovoltaico – Aspetti Energetici ed Economici	27
Tabella 5.13: CSP – Aspetti Energetici ed Economici	28
Tabella 5.14: Caratteristiche Termiche degli Elementi della Copertura	28
Tabella 5.15: Isolamento Copertura – Aspetti Energetici ed Economici	29
Tabella 5.16: Bilancio Energetico del Progetto	30

ELENCO DELLE FIGURE

<u>Figura No.</u>	<u>Pagina</u>
Figura 1.1: il Campus di Savona, Particolare	1
Figura 2.1: Centrale Termica e Vano Microturbina Esistenti	5
Figura 3.1: Layout di Posizionamento degli Impianti	8
Figura 3.2: Copertura Palazzina Delfino per Impianto Fotovoltaico	9
Figura 3.3: Area per Posizionamento CSP	11
Figura 3.4: Area per Installazione Nuova Microturbina	13
Figura 3.5: Area per Installazione Accumulo Elettrico	14

ELENCO DELLE TAVOLE (FUORI DAL TESTO)

Tavola No.

Tavola 1 – Layout Generale ed Interconnessioni

**PROGETTO ESECUTIVO
RELAZIONE GENERALE
PROGETTAZIONE PRELIMINARE, DEFINITIVA ED ESECUTIVA, PER LA
REALIZZAZIONE DI UN'INFRASTRUTTURA SPERIMENTALE-
DIMOSTRATIVA DI POLIGENERAZIONE DENOMINATA "SMART
POLYGENERATION MICROGRID"**

1 INTRODUZIONE

Scopo di questo documento è fornire una relazione tecnica illustrativa dell'architettura e dell'ingegneria alla base della progettazione per la realizzazione di un'infrastruttura sperimentale-dimostrativa di poligenerazione denominata "Smart Polygeneration Microgrid" (SPM), localizzata presso il Campus universitario di Savona.

La progettazione definitiva degli interventi fa seguito alla progettazione preliminare della SPM avvenuta nell'anno 2011 e condivisa l'Ateneo.

La realizzazione della "Smart Polygeneration Microgrid" si pone l'obiettivo di dotare l'Ateneo genovese di un'infrastruttura sperimentale e dimostrativa di eccellenza, in grado di innalzare ulteriormente il livello di qualità della ricerca scientifica della Facoltà di Ingegneria e di rappresentare un punto di attrazione verso il mondo esterno.



Figura 1.1: il Campus di Savona, Particolare

La filosofia progettuale vede gli interventi ipotizzati come parti di un progetto più ampio avente i seguenti macro obiettivi:

- lo sviluppo di una mini-rete intelligente che possa funzionare da test bed per lo sviluppo delle smart grids a scala molto più ampia sia per aspetti legati alla ricerca sulla stabilità ed affidabilità di queste reti che per aspetti gestionali;
- un incremento crescente, nel medio termine, dell'efficienza energetica del Campus e dell'energia prodotta in modo pulito al suo interno, con il risultato di ridurre considerevolmente l'impatto ambientale diretto ed indiretto dell'esercizio del Campus e di ridurre altrettanto considerevolmente le bollette energetiche.

Il progetto definitivo della “Smart Polygeneration Microgrid”, di cui questa relazione è costituisce la relazione descrittiva, si compone dei seguenti elaborati:

- Doc. No. 11-650-H30: Relazione Generale;
- Doc. No. 11-650-H31: Relazione tecnica e strutturale, completa di tavole e calcoli esecutivi delle strutture;
- Doc. No. 11-650-H32: Relazione tecnica sistema elettrico, completa di tavole e calcoli esecutivi degli impianti elettrici e fotovoltaico;
- Doc. No. 11-650-H33: Relazione tecnica impianti meccanici, completa di tavole e calcoli esecutivi degli impianti;
- Doc. No. 11-650-H34: Relazione tecnica Automazione e Controllo, completa di tavole;
- Doc. No. 11-650-H35: Relazione tecnica Valutazione del rischio dovuto a scariche atmosferiche;
- Doc. No. 11-650-H36: Relazione tecnica Sistema di protezione da scariche atmosferiche;
- Doc. No. 11-650-H37: Piano di manutenzione;
- Doc. No. 11-650-H38: Piano di Sicurezza e di Coordinamento;
- Doc. No. 11-650-H39: Quadro di incidenza manodopera;
- Doc. No. 11-650-H40: Cronoprogramma;
- Doc. No. 11-650-H41: Disciplinare descrittivo e prestazionale delle opere civili;
- Doc. No. 11-650-H42: Disciplinare descrittivo e prestazionale delle opere edili;
- Doc. No. 11-650-H43: Disciplinare descrittivo e prestazionale degli impianti meccanici;
- Doc. No. 11-650-H44: Disciplinare descrittivo e prestazionale degli impianti elettrici e speciali;
- Doc. No. 11-650-H45: Disciplinare descrittivo e prestazionale del sistema di automazione e controllo;
- Doc. No. 11-650-H46: Elenco prezzi e analisi prezzi aggiuntivi;
- Doc. No. 11-650-H47: Computo metrico estimativo;
- Doc. No. 11-650-H48: Quadro economico di progetto;
- Doc. No. 11-650-H49: Schema di contratto;
- Doc. No. 11-650-H50: Capitolato speciale d'appalto;
- Doc. No. 11-650-H51: Aggiornamento relazione descrittiva di inquadramento urbanistico e territoriale, completa di tavole;
- Doc. No. 11-650-H52: Aggiornamento Relazione Descrittiva Sottoservizi e Risoluzione delle Interferenze;

- Doc. No. 11-650-H53: Elenco autorizzazioni, permessi e certificazioni da ottenere;
- Doc. No. 11-650-H54: Fascicolo Tecnico dell'Opera;
- Doc. No. 11-650-H55: Elenco elaborati.

2 QUADRO DI RIFERIMENTO

La realizzazione di una rete comprendente impianti per la generazione di energia richiede un'attenta analisi dello stato attuale del sito sotto svariati profili:

- condizioni ambientali;
- condizioni idrogeologiche;
- stato degli immobili e dei terreni;
- stato degli impianti esistenti e loro interazione con i nuovi sistemi;
- sottoservizi presenti ed interazione con i nuovi sistemi.

Ciascuno di questi elementi è stato valutato per giungere ad una precisa identificazione delle soluzioni progettuali.

Per alcune tematiche, l'Università ha reso disponibile una serie di documenti di primaria importanza, quali planimetrie, elaborati progettuali dello stato di fatto del Campus, schede tecniche dei materiali acquistati, ecc. In altri casi, indagini indipendenti sono state svolte dal gruppo di progetto tramite calcoli, sopralluoghi ed analisi documentali.

Nelle sezioni seguenti sono sintetizzate le principali evidenze per quanto attiene alle tematiche elencate.

2.1 CONFIGURAZIONE ATTUALE DEL CAMPUS

2.1.1 Impianti

Il Campus sorge in un'ex area militare ed è costituito da una serie di edifici principali destinati alle attività universitarie (aule, uffici, biblioteca, servizi ed alloggi). Inoltre vi è una serie di altre strutture ausiliarie dedicate a laboratori, centrale termica e locali tecnici, spogliatoi dei campi sportivi, parcheggi, ecc.

Attualmente i fabbisogni elettrici e termici del Campus sono completamente coperti mediante l'impiego di fonti di energia convenzionali (gas naturale ed elettricità dalla rete).

Il Campus è climatizzato, per la parte invernale, attraverso una rete di teleriscaldamento servita da una centrale termica. Il calore è generato attualmente da due caldaie da 500 kW ciascuna, e da una microturbina cogenerativa Capstone C30 da 30 kW elettrici e circa 80 kW termici che viene utilizzata come integrazione al sistema principale di riscaldamento (la microturbina opera in cogenerazione, ed l'elettricità prodotta viene riutilizzata internamente al Campus). Questo sistema serve tutte le utenze, con l'eccezione di quelle più a nord, ossia le aule magne (riscaldate da sistemi autonomi a caldaia) e la palazzina residenze a Nord della biblioteca, di recentissima costruzione, dotata di un sistema autonomo a pompa di calore. Gli impianti di riscaldamento funzionano, attualmente, nel periodo che va da inizio novembre a metà aprile. Il raffrescamento è fornito da gruppi frigoriferi a compressione centralizzati su tutte le palazzine rinnovate (Lagorio, Marchi, Branca, Locatelli e palazzina alloggi e sala mensa) ed in biblioteca, mentre la palazzina Delfino è climatizzata in alcuni locali con sistemi a split.



Figura 2.1: Centrale Termica e Vano Microturbina Esistenti

L'introduzione di unità cogenerative genererà calore utile (112 kW termici) che verrà immesso nella rete di teleriscaldamento. La progettazione dell'integrazione presuppone che le nuove unità vengano connesse per la parte termica in parallelo alle caldaie ed alla microturbina esistente e controllate dalla sala di controllo, avendo quale unico comando esterno (da parte del gestore della centrale termica) il livello massimo di potenza termica ammissibile dalla centrale termica.

La rete elettrica del Campus, in media e bassa tensione, è riportata negli elaborati grafici. La potenza elettrica impegnata è di circa 400 kW; ad oggi la domanda di picco potenza media impegnata è intorno ai 260 kW.

La distribuzione avviene in gran parte per via sotterranea. Lo stesso avviene per le linee di trasmissione dati.

2.1.2 Analisi Idro-Geologica del Sito

L'università ha messo a disposizione la relazione geologico-tecnica dell'area del sul terreno che interessato dalla realizzazione della palazzina alloggi per studenti.

La caratterizzazione del terreno fa pertanto riferimento al contenuto della suddetta Relazione Geologico -Tecnica, documento del marzo 2008 redatto dal Laboratorio Geotecnico Ligure s.n.c.

3 LA SMART POLYGENERATION MICROGRID

La realizzazione della Smart Polygeneration Microgrid avverrà attraverso una progettazione multidisciplinare che coinvolge i seguenti ambiti, tra loro interfacciati:

- progettazione degli impianti meccanici;
- progettazione elettrica;
- progettazione elettronica ed automazione;
- progettazione civile-strutturale.

Seguendo le indicazioni fornite dalla Committente, che ha acquistato autonomamente alcuni impianti o parti di essi, la progettazione della Smart Polygeneration Microgrid riguarda la seguente configurazione:

- impianto Solare Fotovoltaico da 49,9 kWp sulla copertura della palazzina Delfino (moduli già acquistati dal Campus) ed isolamento termico della porzione di copertura interessata;
- microturbina cogenerativa a gas naturale da 65 kWe e 112 kWt (già acquistata) con possibilità di trigenerazione tramite gruppo ad assorbimento;
- due impianti Solari Termodinamici a Concentrazione da 1 kWe e 3 kWt ciascuno (già acquistati);
- accumuli elettrici;
- accumuli termici, gruppo frigorifero ad assorbimento e torre evaporativa;
- rete elettrica dedicata;
- stazioni di ricarica per veicoli elettrici *plug-in*;
- sistema di controllo e gestione con rete tlc ad esso asservita;
- sala di controllo per la gestione della rete.

La nuova infrastruttura è rivolta ad un duplice scopo: produrre energia pulita a servizio dell'Università per la copertura del fabbisogno e servire da strumento di ricerca per lo sviluppo e la sperimentazione di sistemi di gestione di microreti.

In particolare, il sistema dovrà consentire lo svolgimento delle seguenti attività:

- implementazione, a partire da dati di ingresso riguardanti previsioni meteorologiche provenienti da database anche remoti, di algoritmi di previsione della produzione di potenza attesa da parte di sorgenti di energia da fonte rinnovabile (fotovoltaico);
- esecuzione di simulazioni statiche (loadflow) che conducano al dispacciamento delle sorgenti di energia da fonte non rinnovabile (turbogas) e la pianificazione della ricarica e/o prelievo di/dai sistemi di accumulo (storage);
- controllo dello scambio di potenza/energia al punto di interfaccia con il distributore pubblico, al fine di mantenerlo ad un valore prefissato agendo sui dispositivi di controllo delle sorgenti di energia interne alla microrete (turbogas, inverter);
- archiviazione su database centralizzato delle misure effettuate al punto di scambio con il distributore pubblico ed in corrispondenza di ciascuna generazione, al fine di accertare l'effettivo rispetto delle previsioni effettuate;

- approfondimenti circa le modalità di controllo e/o gestione delle singole generazioni al fine di consentire il passaggio dalla condizione iniziale di microrete in parallelo al distributore pubblico a microrete in isola e ritorno alla condizione di microrete in parallelo al distributore pubblico.

Il sistema in progetto è strutturato in modo da realizzare un sistema aperto, modulare, flessibile e già predisposto per ulteriori futuri interventi. Tali fasi successive potranno prevedere sia l'espansione di tecnologie già installate nell'ambito del progetto, quali nuovi moduli cogenerativi e nuovi impianti fotovoltaici sulle coperture, sia l'installazione di nuove tecnologie non ancora installate (quali, ad esempio, i generatori micro-eolici, per i quali la rete verrà già predisposta in questa fase), sia il graduale ammodernamento degli edifici e dei loro impianti con l'obiettivo di inserire all'interno della gestione della SPM una quota sempre più ampia dei consumi, ed eventualmente vendere parte dell'energia prodotta (calore e/o elettricità) a strutture esterne al Campus (ad esempio piscine). A seguito delle comunicazioni intercorse con la committente, si è infine prevista la predisposizione alla connessione dell'area "E-HUB", costituita da una serie di laboratori di Thermochemical Power Group (TPG) del dipartimento di macchine, sistemi energetici e trasporti (DIMSET).

3.1 LAYOUT DEL SISTEMA

La seguente Figura 3.1 mostra il posizionamento degli impianti previsti presso il Campus.

Il posizionamento di alcuni impianti in determinate aree appare quasi obbligato e questo è dovuto a questioni logistiche e/o intrinseche agli impianti: per esempio, l'impianto fotovoltaico necessita di superficie piana abbondante e pertanto una disposizione a tetto risulta ideale; l'area in cui sorge la palazzina alloggi per studenti con annessa centrale termica suggerisce di sfruttare il cortile libero adiacente per il posizionamento dei CSP con conseguente facilità di connessione degli impianti al locale tecnico della palazzina stessa per la parte termica.

La rete elettrica dedicata e la linea dati della SPM non costituiscono un parametro determinante nel posizionamento impiantistico, in quanto dovranno essere comunque realizzate ex-novo. Ciò premesso, la presente progettazione ha tenuto in considerazione la presenza di una serie di linee cavi e di predisposizioni già in essere che ben si prestano all'installazione di quanto richiesto all'interno della SPM.

L'area migliore per collocare unità cogenerative è quella in prossimità della centrale termica esistente, nella zona immediatamente a Nord del campo da calcetto. Tale posizione è adiacente alla centrale termica, è quindi già servita dalla rete del gas e permette una connessione semplice con la rete di teleriscaldamento. I sopralluoghi effettuati sono stati necessari a chiarire la disponibilità effettiva di spazi e la presenza di eventuali sottoimpianti che insistono sul terreno prescelto. Si sono rilevate sia la disponibilità di spazi adeguati per l'installazione di una prima unità e per eventuali successive installazioni modulari, sia l'assenza di ostacoli seri a livello di sottoimpianti.

Per ovviare ai problemi di rumorosità tipici degli impianti cogenerativi, le realizzazioni dovranno essere completate da un adeguato isolamento acustico.

Per quanto riguarda l'impianto solare a concentrazione (CSP), la localizzazione prescelta è quella della spianata ad Est delle nuove residenze universitarie a Nord della biblioteca: quest'area permette una collocazione ben visibile per gli impianti, e la loro produzione termica può essere utilmente impiegata come preriscaldamento dell'acqua calda sanitaria impiegata dalle vicine residenze. L'area è stata attentamente controllata anche dal punto di vista degli ombreggiamenti, in quanto si è dovuto verificare che non vi siano ostacoli

circostanti che possano mettere in ombra i paraboloidi, in maniera tale da ridurre sensibilmente la producibilità (e.g.: alberi, l'edificio della biblioteca o la palazzina alloggi). L'analisi clinometrica che è stata effettuata ha confermato l'applicabilità della soluzione scelta.



Figura 3.1: Layout di Posizionamento degli Impianti

L'impianto fotovoltaico da 49,9 kWp richiede uno spazio disponibile abbastanza consistente (circa 345 m² di superficie netta dei moduli, da disporre tenendo conto dell'inclinazione di 30° e dell'opportuna distanza tra le file). La copertura della palazzina Delfino è quella che presenta le migliori caratteristiche in termini di disponibilità di superfici libere, accessibilità, assenza di ombre da parte di altri oggetti circostanti, caratteristiche della superficie. Di tale copertura, si prevede di occupare solamente una parte, corrispondente al lato nord della

copertura (la parte sud ha invece problemi di ombreggiamento causati da un filare di pini domestici più alti dell'edificio stesso).

A completamento dell'intervento sulla palazzina Delfino, si è progettato di realizzare un adeguato isolamento termico della copertura, in modo tale da ottenere consistenti risparmi di energia derivanti dal ridursi delle dispersioni termiche della struttura.

Gli accumuli elettrici verranno posizionati in prossimità del muraglione che sorge di fronte alla palazzina Delfino in un'area oggi non utilizzata, predisponendo un'apposita struttura in grado di accogliere le batterie e proteggerle dagli agenti atmosferici.

Gli accumuli termici ed il chiller ad assorbimento per la trigenerazione saranno al servizio dell'impianto di climatizzazione della biblioteca e verranno posizionati nell'area ad essa adiacente, utilizzando gli spazi disponibili in prossimità della centrale termica e della pompa di calore attualmente presenti. Il serbatoio di accumulo verrà posizionato all'interno del locale tecnico esistente.

Si rimanda, comunque, anche agli elaborati grafici per un inquadramento completo dell'intervento.

3.2 IMPIANTO SOLARE FOTOVOLTAICO

Sulla copertura dell'edificio "Delfino" sarà realizzato un campo fotovoltaico di potenza pari a 49,9 kWp, mediante impiego dei moduli in silicio policristallino da 240 Wp ciascuno, già acquistati dall'Università degli Studi di Genova.

L'area oggetto di intervento è la parte nord della copertura della palazzina Delfino, costituito da un tetto piano interrotto da due lucernai e ricoperto di impermeabilizzazione.



Figura 3.2: Copertura Palazzina Delfino per Impianto Fotovoltaico

I moduli fotovoltaici saranno installati su profilati portanti in acciaio zincato a caldo, connessi alla copertura degli edifici e inclinati di 30°. I singoli moduli saranno connessi tra loro in serie a formare 13 stringhe da 16 elementi ciascuna, afferenti ad un unico quadro di

stringa ubicato in posizione baricentrica. I quadri di stringa saranno messi poi in parallelo tra loro e connessi all'inverter.

La postazione di conversione sarà realizzata in un locale ricavato nell'ampio corridoio di ingresso al piano terra della palazzina Delfino, sullo spigolo Nord-Ovest dell'edificio secondo quanto indicato sugli elaborati progettuali. Il locale ospiterà l'inverter, che avrà dispositivo MPPT e possibilità di controllo da remoto della potenza attiva/reattiva in AC in uscita dell'impianto, ed armadio di misura fiscale.

Il condizionamento del vano inverter sarà effettuato mediante una unità split.

Dal punto di vista strutturale, i pannelli saranno disposti su supporti tipo HILTI. Il supporto dei pannelli è affidato a binari longitudinali. L'ancoraggio alla copertura è pensato mediante ancorante meccanico tipo HSA M10x90 su cordolo in c.a. da realizzare sulla copertura stessa, in modo da non forare l'impermeabilizzante e garantire una zavorra alla struttura di supporto dei pannelli.

Considerato che la copertura della palazzina Delfino non è isolata termicamente, si è deciso di inserire tra gli interventi la sua coibentazione nella porzione interessata dall'impianto fotovoltaico: questo intervento, poco costoso in rapporto ai benefici che può apportare, può essere realizzato facilmente nello stato attuale, ma diventerebbe virtualmente impossibile una volta installati i moduli fotovoltaici.

3.3 IMPIANTO CSP

Il solare termodinamico sta sperimentando un interesse in continuo aumento, su livelli di potenza molto diversi, da centrali di decine di MW a microimpianti di scala domestica. Sugli impianti di piccola taglia si stanno affermando i motori Stirling e, su scala leggermente maggiore, i cicli ORC. Considerata la dimensione e la disponibilità di aree adeguate all'interno del Campus, nonché le tipologie ed i costi delle macchine CSP presenti sul mercato, la macchina più adatta alle esigenze produttivo-sperimentali del Campus ha una taglia di pochi kW termici ed elettrici.

Nello specifico, il Campus ha già acquistato due dispositivi a concentrazione solare, modello Trinum, che utilizzano un motore Stirling free piston di piccola taglia per cogenerare energia elettrica e termica, rispettivamente 1 kWe e 3 kWt. Sono state acquistate CSP per complessivi 2 kWe e 6 kWt, che pertanto non sono oggetto della presente fornitura. Ricadono, invece, tra le attività progettuali, l'installazione dell'impianto, l'integrazione di un sistema di accumulo, la connessione al locale termico della palazzina residenze e la realizzazione delle opere civili.

Il dispositivo è costituito da un concentratore solare parabolico, che insegue il sole biassialmente (azimut ed altezza solare), e focalizza direttamente i raggi solari sulla testa di un motore Stirling.

Il calore sviluppato dalla concentrazione viene trasformato dal motore Stirling in energia termica e corrente elettrica in alternata, tale da poter essere immessa direttamente in rete (senza utilizzare inverter).

La potenza elettrica prodotta dal sistema sarà convogliata ad un quadro di controllo, installato a parete in vicinanza dell'area ove è attualmente ospitato il gruppo elettrogeno, e successivamente ad un unico quadro di misura, ove sarà contabilizzata l'energia prodotta da entrambi di dispositivi a concentrazione solare.

Ogni sistema è composto da:

- ottica: concentratore parabolico specchiato, per una superficie captante complessiva di circa 10 m² e diametro di oltre 3 m;
- convertitore: ricevitore solare costituito da hot chamber e testa del motore stirling, capace di convogliare il flusso termico solare concentrato all'interno di un motore stirling free piston da 1 kWp elettrico;
- sistema di solar tracking: gruppo di movimentazione biassiale e sistema di inseguimento;
- sensoristica: sensore di pioggia, anemometro;
- quadro di controllo: racchiude tutta l'elettronica dei sistemi presenti; tramite display è possibile leggere i dati sulla produzione e sullo stato di salute dell'impianto.

La collocazione ottimale dell'impianto è un'area ben esposta al sole, ben visibile e vicina ad un'utenza che utilizzi il calore prodotto. Per queste ragioni, si è scelto di collocare l'impianto solare termodinamico presso la nuova residenza universitaria, a Nord della biblioteca. Questa posizione è ben visibile da gran parte dei principali punti di vista interni al Campus, è priva di ombre importanti e permette una facile connessione per l'utilizzo dell'energia termica prodotta dalla macchina da parte della residenza universitaria, che possiede l'impianto per l'acqua calda sanitaria al livello del suolo e già predisposto per un impianto solare termico.



Figura 3.3: Area per Posizionamento CSP

E' importante sottolineare come il solare termodinamico sia oggi ancora ad uno stadio pre-commerciale, con tecnologie non mature e quindi in costante evoluzione, e che la presenza di un impianto di questo tipo all'interno del Campus aprirebbe le porte ad un interessante filone di attività di ricerca.

L'impianto solare a concentrazione, costituito da due paraboloidi ognuna di ingombro 4,50x4,50x4,50 m, è posizionato in adiacenza ad un muro di sostegno a gravità. Ogni paraboloide è fondato su plinti, di dimensioni (LxLxB) 2,00x2,00x0,85 m. Al fine di limitare

al massimo delle ripercussioni sul muro in pietra esistente in adiacenza alla posizione dell'impianto e per esigenze di cantierizzazione/scavo, i plinti sono stati collocati a 2 m di distanza dal filo interno del muro. Al fine delle verifiche geotecniche, a favore di sicurezza, si è considerato un terreno costituito da materiale di riporto a granulometria eterogenea.

La connessione all'impianto acqua calda sanitaria della palazzina residenze, pensato come preriscaldamento, avverrà attraverso un accumulatore solare da 1000 l a doppio serpentino. Ciascuno dei due serpentine sarà collegato a un impianto CSP, in modo che i due impianti abbiano circuiti idraulici separati. La taglia dell'accumulatore sarà tale da permettere una buona inerzia termica, massimizzando l'utilizzo del calore generato. L'accumulatore sarà posizionato in prossimità dei CSP, accanto alle strutture che ospitano la cabina elettrica.

3.4 MICROTURBINA COGENERATIVA

Una parte considerevole del fabbisogno elettrico e termico del campus sarà coperta da un sistema di micro-cogenerazione basato su turbina a gas naturale. Verrà installata una microturbina modello Capstone C65 iCHP, di potenza nominale di 65 kWe e 112 kWt, che è già stata acquistata dal Campus. Il locale tecnico sarà predisposto in modo tale da poter ospitare, in futuro, ulteriori unità cogenerative, a microturbina e/o a combustione interna. La microturbina permette l'alimentazione anche con gas diversi (biogas, syngas) ed è prevista una predisposizione mediante flangia cieca per alimentazione con gas diversi in funzione di future attività di ricerca del campus (es. gassificatore a biomassa).

I sistemi di micro-cogenerazione si differenziano dai tradizionali impianti di cogenerazione in quanto:

- la produzione elettrica e termica è localizzata direttamente presso l'utenza;
- sono unità modulari che si possono aggiungere in funzione della eventuale crescita del fabbisogno energetico dell'utente;
- hanno livelli di emissioni molto contenuti;
- hanno ingombri e pesi ridotti e pertanto sono facilmente trasportabili;
- sono interamente tele-controllabili da remoto.

Nel caso del campus, l'utilizzo di questa tecnologia risulta particolarmente indicato perché consente di compensare simultaneamente parte del fabbisogno termico ed elettrico dell'intero complesso utilizzando l'energia in modo razionale, massimizzando i risparmi energetici, riducendo i costi operativi e rispettando l'ambiente.

Questa tecnologia infatti, quando vi sia necessità di disporre simultaneamente di energia elettrica ed energia termica, permette di raggiungere rendimenti complessivi anche maggiori dell'85%.

Il sistema cogenerativo alimenterà la rete elettrica del campus ed il sistema di recupero del calore dai fumi di scarico della microturbina permetterà la produzione di acqua calda a 70-90°C che verrà impiegato nella rete di teleriscaldamento.

L'area di intervento preposta all'installazione è la zona adiacente all'attuale centrale termica. Ridisegnando l'aiuola presente, sarà possibile ricavare uno spazio funzionale al posizionamento della nuova centrale di cogenerazione; lo spazio a disposizione è inoltre idoneo alla futura installazione di ulteriori centrali, nell'ottica della modularità del sistema.



Figura 3.4: Area per Installazione Nuova Microturbina

Si prevede di realizzare un'apposita struttura (locale tecnico) che ospiterà le microturbine: la struttura sarà del tipo chiuso ai lati, isolata acusticamente, senza soffitto ma con griglia per evitare la caduta di foglie o altro all'interno del vano tecnico, simile a quella realizzata per la microturbina già installata.

Il basamento richiesto, realizzato mediante platea superficiale, avrà dimensioni (LxLxB) 7,50 x 5,50 x 0,30 m.

3.5 SISTEMA FRIGORIFERO AD ASSORBIMENTO ED ACCUMULO TERMICO

Nelle adiacenze della centrale termica esistente a servizio della biblioteca, si prevede la fornitura e posa in opera di un gruppo frigorifero ad assorbimento completo di torre evaporativa (integrata) e di volano termico; tale gruppo frigo sarà utilizzato in integrazione all'esistente impianto di raffrescamento per il condizionamento estivo della biblioteca. Esso consentirà la produzione di acqua refrigerata per una potenza termica utile complessiva pari a circa 55 kW. La potenza termica complessiva che dovrà essere disponibile con temperature comprese tra 90°C e 80°C ammonta a 75 kW ed è pertanto compatibile con quella disponibile.

Il calore generato dagli assorbitori dovrà essere disperso e pertanto il dispositivo di tipo monoblocco è corredato di apposita torre evaporativa avente adeguata potenza termica. La torre evaporativa è installata a bordo macchina così come i circolatori lato acqua refrigerata e acqua di torre.

L'acqua refrigerata prodotta verrà inviata in apposito volano termico avente al capacità di 3000 l presente a bordo macchina. Tale dispositivo verrà installato in luogo all'accumulo termico avente capacità di 1000 l attualmente installato nella centrale frigorigena al servizio della biblioteca.

Si dovranno apportare le dovute modifiche al layout di impianto esistente come illustrato nel dettaglio nella Relazione Tecnica Impianti Meccanici.

La scelta di installare un sistema frigorifero ad assorbimento, al servizio della biblioteca, deriva dalle seguenti considerazioni:

- si tratta di una tecnologia che negli ultimi anni sta riscuotendo un notevole interesse per applicazioni di recupero di calore di scarto, raffrescamento solare e trigenerazione (come nel caso in questione);

- l'adozione di questa tecnologia permetterebbe di utilizzare la cogenerazione anche nel periodo estivo, incrementando notevolmente le ore di utilizzo annuali;
- la presenza di un gruppo ad assorbimento entro la smart grid permetterebbe di valutarne le performances operative all'interno della SPM, e di effettuare valutazioni sull'esercizio di sistemi di accumulo calore;
- la biblioteca dispone di un'unità di climatizzazione a pompa di calore con svariati problemi di funzionamento.

3.6 ACCUMULO ELETTRICO

Al fine di poter disporre di ulteriore carico rispetto a quello rappresentato dai sistemi ausiliari a servizio della microrete, nonché di poter disporre di una ulteriore capacità di regolazione della potenza immessa/prelevata dalla rete, sarà realizzato un sistema di accumulo elettrico basato su impiego di batterie al Sodio-Nickel ad alta tensione.

Il sistema di accumulo elettrico sarà realizzato in prossimità dell'ascensore e del locale "Magazzino", nella zona a Nord ove attualmente sono presenti spazi non utilizzati e sarà fornito in un container di dimensioni standard ISO 20', opportunamente ventilato.



Figura 3.5: Area per Installazione Accumulo Elettrico

Il sistema sarà dimensionato per una capacità di immagazzinamento energetico pari a ca. 100kWh, che consentirà l'alimentazione dei carichi rimanenti e di parte del Campus Universitario (Hangar e nuovi alloggi), e sarà compatibile con gli spazi disponibili nell'area individuata per la sua collocazione.

Per ragioni di limitazione di spesa in questa fase il parco batterie fornito sarà tuttavia limitato a ca. 50kWh mentre gli apparati di conversione saranno già idonei alla gestione di un accumulo pari a ca. 100kWh.

3.7 STAZIONI DI RICARICA VEICOLI ELETTRICI

In prossimità del parcheggio nella zona Nord ed in un'apposita piazzola tra le palazzine "Lagorio" e "Marchi" saranno posizionate due colonnine di ricarica di veicoli elettrici di tipo plug-in quali uno scooter elettrico ed un autoveicolo elettrico. Tali veicoli non sono oggetto della presente fornitura e verranno acquistati dall'Università in futuro.

Insieme alle colonnine saranno fornite anche tessere magnetiche di abilitazione alla ricarica, che potranno essere distribuite al personale autorizzato alla conduzione dei veicoli.

Ciascuna colonnina sarà collegata mediante cavo ethernet al sistema di supervisione remota, al fine di poterne monitorare lo stato di funzionamento.

3.8 PREDISPOSIZIONI PER FUTURI IMPIANTI MICRO-EOLICI

La SPM sarà dotata di due predisposizioni per la futura installazione di impianti micro-eolici per la generazione di energia elettrica, qualora l'Università decidesse di investire sulla tecnologia eolica per scopi di ricerca o di generazione di energia.

Un primo generatore potrà essere installato nei pressi dei laboratori TPG dove sarà installato un quadro di anello, che darà la possibilità di connettere fino a tre impianti diversi (non necessariamente eolici) e di tre utenze della smart grid.

Un secondo generatore potrà essere posizionato su di un palo realizzato ad hoc allineato con i sostegni della struttura ombreggiante già presente nei pressi della palazzina Lagorio. Questa soluzione, che vede il microeolico installato lungo il viale pedonale principale del campus, consentirà di ottenere una buona esposizione ai venti prevalenti (tramontana) ed un'elevata visibilità.

La realizzazione di un impianto eolico all'interno del presente progetto era stata inizialmente prevista in fase di progettazione preliminare. Si è poi deciso, in accordo con la Committenza, di posticipare questa installazione ad una fase successiva.

3.9 AUTOMAZIONE E CONTROLLO DEL SISTEMA

La rete di generazione elettrica sarà governata da un sistema di monitoraggio, supervisione e controllo capace di modulare la produzione di energia elettrica in funzione delle utenze connesse, delle politiche di generazione desiderate e degli scambi elettrici con il gestore dell'energia elettrica che potranno essere definite con lo scopo di ottimizzare i consumi per una gestione efficiente della rete di generazione anche in funzione delle previsioni degli elementi stocastici (evoluzioni meteo climatiche).

L'architettura di controllo ha lo scopo di controllare e modulare la produzione di energia elettrica in funzione:

- della richiesta energetica delle utenze connesse;
- delle capacità generative delle fonti rinnovabili;
- degli scambi di energia con il gestore della rete elettrica;
- di particolari esigenze specifiche che potranno essere definite in via di utilizzo (es. pianificazione di produzione di energia).

L'architettura di controllo è costituita da tre sottosistemi che offrono servizi di:

- interfaccia col campo: composto da quei dispositivi che si interfacciano direttamente con la rete elettrica (RTU-Remote Terminal Unit) con azioni di misurazione di parametri (correnti, tensioni, temperature, ecc.) e mediante azioni di controllo (interruttori, produzione, ecc.);
- management centralizzato: sottosistema che controlla i sistemi sul campo con lo scopo di ottimizzare le risorse produttive in base alle informazioni provenienti dai dispositivi che si interfacciano col campo e da eventuali input legati allo sviluppo di nuove strategie (ad esempio input previsioni meteorologiche);
- comunicazione: sottosistema composto da quegli apparati necessari per il trasferimento dell'informazione in maniera bidirezionale tra i dispositivi di controllo ed il sistema di supervisione.

L'interazione tra i suddetti sottosistemi permette la supervisione ed il controllo della produzione di energia tramite dispositivi sul campo coordinati secondo strategie centralizzate.

L'alimentazione dell'intero sistema di automazione e controllo avverrà tramite una linea no-break necessaria per controllare il sistema in caso di malfunzionamenti della rete standard.

Il cuore del sistema di automazione e controllo sarà installato nella sala di controllo ricavata all'interno della palazzina "Delfino". Alla sala di controllo saranno connessi i terminali dell'anello di controllo. La sala sarà equipaggiata del server principale, di un UPS e di un sistema di climatizzazione; tutti i carichi elettrici della sala saranno alimentati dalla SPM e non dalla rete elettrica esistente del campus. La sala, a seguito di lavori di riorganizzazione, presenterà una sottoarea isolata dedicata all'alloggiamento del rack di controllo. Questa soluzione ha lo scopo di minimizzare il rumore acustico introdotto dal rack nell'ambiente normalmente presidiato e permette di climatizzare in modo adeguato il centro di calcolo.

3.10 UTILIZZO DI COMPONENTI PREFABBRICATI

Per la realizzazione delle opere progettuali descritte nei precedenti paragrafi, oltre ai generatori di calore ed elettricità ed alle restanti opere che costituiscono la smart grid, si ricorrerà all'utilizzo di alcune strutture prefabbricate, specificamente:

- a protezione delle microturbine è predisposta una struttura a pannelli con funzione insonorizzante. Questa è realizzata mediante una struttura portante in acciaio a supporto delle superfici laterali in pannelli sandwich e della copertura in grigliato tipo Orsogril;
- il parco batterie che costituisce il sistema di accumulo elettrico verrà fornito in un container di dimensioni standard ISO 20', opportunamente ventilato.

Per una descrizione maggiormente dettagliata di quanto elencato si rimanda alle singole relazioni specialistiche, alle tavole progettuali ed ai disciplinari descrittivi e prestazionali dei singoli sistemi.

3.11 INTERAZIONE CON I SOTTOSERVIZI

L'analisi del sito è risultata particolarmente importante in quanto ha consentito di evidenziare alcune possibili criticità, che hanno influenzato le scelte progettuali.

L'Università ha reso disponibili alcuni elaborati che mostrano la posizione delle reti termiche di riscaldamento, delle linee elettriche, delle linee dell'acquedotto, dei cavidotti per la trasmissione dati.

Non tutti i tracciati dei sottoservizi risultavano, però, mappati: ad esempio la linea di alimentazione del metano ed il passaggio di eventuali tubi nell'area attorno alla centrale termica non risultavano chiaramente definiti e questo poteva interferire con la posa dei plinti di fondazione per il locale tecnico della turbina e per alcuni impianti ausiliari.

Si è pertanto svolta un'indagine sul campo delle possibili interferenze che ha portato alla redazione di una specifica relazione, la Relazione Descrittiva Sottoservizi e Risoluzione delle Interferenze.

4 ASPETTI ECONOMICI E FINANZIARI

4.1 COMPUTO METRICO ESTIMATIVO

Viene di seguito riportata una stima dei costi per la realizzazione degli impianti descritti nei capitoli precedenti. Questo riepilogo deriva dalle stime dei costi delle opere presentate in ciascun elaborato tecnico di dettaglio e dal quadro economico di progetto. Per un maggiore dettaglio si rimanda al documento di progetto Computo Metrico Estimativo.

I costi presentati nella seguente Tabella 4.1 sono raggruppati secondo le quattro principali discipline coinvolte nel progetto, e cioè l'impiantistica meccanica, gli impianti elettrici e tecnologici, le opere civili ed edili, l'automazione e controllo del sistema. Le cifre riportate includono le seguenti voci:

- fornitura dei materiali;
- installazione;
- collaudi.

Tabella 4.1: Computo Metrico Estimativo

Opere	Costo €(IVA esclusa)
Opere relative agli impianti tecnologici meccanici: installazione microgeneratore, fornitura e installazione del gruppo ad assorbimento, installazione meccanica dei CSP, condizionamento e ventilazione meccanica della sala di controllo, opere di adeguamento delle centrali termiche esistenti, sistemi di controllo.	€ 208.882,57
Opere relative all'impiantistica elettrica e agli impianti tecnologici elettrici: rimozioni e spostamenti, quadri elettrici, colonnine di ricarica dei veicoli elettrici, sistema di accumulo elettrico, fornitura e installazione di inverter per impianto fotovoltaico, installazione di moduli fotovoltaici, illuminazione, distribuzione f.m. antintrusione e rivelazione incendi in sala controllo, gruppi soccorritori, sistema di monitoraggio da remoto turbina Capstone, gruppi soccorritori e installazione elettrica dei CSP.	€ 584.333,79
Opere civili ed edili: platee per CSP, microturbina, accumulo elettrico, accumulo termico, installazione linee vita, realizzazione isolamento della copertura, strutture per fotovoltaico, opere interne palazzina Delfino, fornitura e installazione di baraccatura per vano microturbina.	€ 172.332,54
Sistema di automazione e controllo: interfaccia campo, sistema di controllo, rete dati.	€ 246.975,57
TOT (Iva esclusa)	€ 1.212.524,46

La precedente tabella non tiene conto di altri oneri generali quali progettazione, imprevisti, pratiche di connessione alla rete, ecc., che sono stati inclusi nello specifico documento Quadro Economico di Progetto.

4.2 LAVORI IN APPALTO E LAVORI IN ECONOMIA

Tutti i lavori relativi ai lavori relativi alla realizzazione della SPM sono realizzati in appalto, con l'esclusione delle seguenti opere:

1. L'allaccio telefonico ed alla rete internet del Campus, allaccio che dovrà essere reso disponibile da CSITA (gestore della rete del Campus) all'interno del locale Sala di Controllo;
2. L'allaccio alla rete gas della nuova microturbina. Come illustrato nella relazione impianti meccanici 11-650-H33, questo allaccio avverrà realizzando uno stacco lungo la linea gas che alimenta le caldaie del teleriscaldamento del campus nel tratto immediatamente esterno al locale caldaie, in cui il tubo esistente è a vista all'esterno. Tale verrà realizzato dotandolo di una valvola ed una flangia cieca prima che venga realizzata la microturbina. Questo lavoro verrà effettuato in economia nell'ambito delle pratiche per il rinnovo del Certificato Prevenzione Incendi del Campus;
3. La connessione della microturbina alla rete di teleriscaldamento prevede svariate modifiche alla configurazione delle connessioni nel vano caldaia, che coinvolgono sia la rete di teleriscaldamento gestita da una società di conduzione impianti esterna che la microturbina esistente di proprietà IREN. E' pertanto necessario che tali lavori vengano effettuati, come indicato nella relazione 11-650-H33 e relative tavole, in accordo con l'attuale gestore degli impianti e con i proprietari della microturbina.
4. La connessione del chiller ad assorbimento all'impianto di climatizzazione della biblioteca richiede modifiche all'impianto stesso. E' pertanto necessario che tali lavori vengano effettuati, come indicato nella relazione 11-650-H33 e relative tavole, in accordo con l'attuale gestore di tale impianto.

L'importo complessivo di queste opere è stimato in circa 25000 Euro.

5 BILANCI ENERGETICI

A seguito di una richiesta della committenza, viene qui valutata una stima dell'impatto della Smart Polygeneration Microgrid sui bilanci energetici del campus. L'obiettivo di questa sezione è di stimare i livelli di potenza, termica ed elettrica, tipici del campus oggi. Viene altresì valutata una stima economica della produzione che avverrebbe, per quanto – come nel seguito dettagliato – affetta da notevoli margini di incertezza dovuti alla peculiarità degli interventi ed alla struttura giuridico-gestionale che verrà stabilita.

5.1 CONSUMI ATTUALI DEL CAMPUS

I consumi tipici del Campus sono stati analizzati sulla base delle bollette mensili di gas ed elettricità di tutto il 2010, fornite dalla Committente.

5.1.1 Consumi Termici

I consumi termici sono stati desunti dalle letture eseguite tra dicembre 2009 e novembre 2010. Tali letture, effettuate in termini di MWh di combustibile, sono riportate nella seguente Tabella 5.1.

Tabella 5.1: Consumi Mensili di Gas Naturale (Dati in MWh)

Data lettura	Contatore ex cinema	Contatore aule magne	Contatore centrale termica	Giorni di riscaldamento
31-12-2009	5,6	3,5	399,3	31
31-1-2010	6	2,7	240,6	31
28-02-2010	10	4,4	313	28
31-03-2010	8	3,6	201	31
16-04-2010	3	1	90	16
30-10-2010	-	-	55	Non noto
30-11-2010	10	5	127	30

Le letture sono effettuate a tre contatori diversi. L'attenzione relativamente all'impatto degli interventi previsti per la SPM si concentra sulla centrale termica, che d'altra parte ha la quota di consumi principale. Trascurando i consumi di Ottobre, mese al di fuori della normale stagione di riscaldamento e dovuti probabilmente ad un autunno più freddo della norma, è utile valutare la potenza media del riscaldamento supponendo che sia impiegato solo nell'arco di 12 ore. Colloqui con il conduttore dell'impianto confermano questa impostazione. In Tabella 5.2 sono indicati i valori medi di potenza del combustibile impiegato, nell'ipotesi fatta di impianto funzionante 12 ore al giorno sulla stagione di riscaldamento ufficiale (1 novembre-15 aprile).

Per praticità, si sono indicate nell'ultima colonna a destra le ore mensili di funzionamento. Da questa analisi si possono fare le seguenti osservazioni:

- nel mese di dicembre la potenza media impiegata supera la potenza termica nominale delle caldaie in centrale termica (2 x 500 kW). Questo si spiega facilmente considerando che la potenza in bolletta è quella lorda del combustibile e non quella netta della caldaia, che in essa non è considerata la potenza della microturbina esistente e che, soprattutto, nei periodi di freddo più intenso l'orario di accensione delle caldaie può essere esteso a più di 12 ore;
- la potenza mediamente impiegata eccede largamente, su tutto il periodo, la potenza termica massima del nuovo cogeneratore (112 kW), che può quindi garantire il carico base durante l'intera stagione;
- potrebbe essere valutata una modifica alla gestione della rete di teleriscaldamento per incrementare ulteriormente il numero di ore di accensione invernale delle microturbine.

Tabella 5.2: Potenza Media su 12 Ore di Funzionamento degli Impianti Termici (kW)

Data lettura	Contatore ex cinema	Contatore aule magne	Contatore centrale termica	Ore mensili di funzionamento
dicembre 2009	15,05	9,41	1073,39	372
gennaio 2010	16,13	7,26	646,77	372
febbraio 2010	29,76	13,10	931,55	336
marzo 2010	21,51	9,68	540,32	372
aprile 2010	15,63	5,21	468,75	192
novembre 2010	27,78	13,89	352,78	360
totale annuo				2004

5.1.2 Consumi Elettrici

I consumi elettrici del campus messi a disposizione riguardano un intero anno dal 1° gennaio al 31 dicembre 2010.

Tabella 5.3: Energia Elettrica Consumata nel 2010 (MWh)

	Totale energia	Fascia F1	Fascia F2	Fascia F3
Gennaio 2010	83,343	41,247	16,602	25,495
Febbraio 2010	83,377	45,381	16,348	21,649
Marzo 2010	82,699	43,699	16,808	22,192
Aprile 2010	70,583	34,882	13,776	21,926
Maggio 2010	69,696	34,661	12,792	22,242
Giugno 2010	75,44	39,702	13,594	22,144
Luglio 2010	96,118	57,569	16,411	22,137
Agosto 2010	58,571	28,067	11,568	18,936
Settembre 2010	72,277	39,352	13,459	19,467
Ottobre 2010	72,146	37,9	14,183	20,064

	Totale energia	Fascia F1	Fascia F2	Fascia F3
Novembre 2010	85,518	46,55	16,627	22,342
Dicembre 2010	78,463	37,53	15,562	25,372

Le modalità di tariffazione sono a fasce. La fascia 1 riguarda i consumi nei soli giorni feriali dalle ore 8 alle 19, la fascia due riguarda i feriali dalle 7 alle 8 e dalle 19 alle 23 ed i sabati non festivi dalle 7 alle 23, la fascia 3 riguarda i periodi notturni di feriali e sabati non festivi nonché domeniche e festivi dalle 0 alle 24. I consumi energetici del campus sono riportati in Tabella 5.3.

Tabella 5.4 mostra invece la potenza media impiegata, nell'anno e sulle tre fasce. Come si può desumere, la potenza generata dagli impianti è nella media sempre più bassa rispetto ai consumi, eccezioni potrebbero verificarsi solo di notte (qualora funzionassero cogenerazione ed eolico) e nei festivi. Appare comunque evidente che, con una opportuna ottica di gestione degli impianti, sarà possibile mantenersi sempre in condizioni di autoconsumo, la situazione cioè che, come meglio illustrato nel prossimo paragrafo, si presenta come la migliore dal punto di vista tariffario.

Tabella 5.4: Potenza Media Consumata nel 2010 nelle tre Fasce (kW)

	Media totale	Fascia F1	Fascia F2	Fascia F3
Gennaio 2010	112	197,35	94,87	70,82
Febbraio 2010	124	206,28	99,68	75,17
Marzo 2010	111	172,72	93,90	71,13
Aprile 2010	98	151,00	81,51	68,52
Maggio 2010	94	143,23	80,96	64,66
Giugno 2010	105	171,87	80,44	69,20
Luglio 2010	129	237,89	86,37	70,95
Agosto 2010	79	115,98	66,48	57,73
Settembre 2010	100	162,61	77,35	64,04
Ottobre 2010	97	164,07	76,66	61,17
Novembre 2010	119	201,52	98,38	69,82
Dicembre 2010	105	155,08	98,49	73,76

5.2 STIMA DELLA PERFORMANCE ECONOMICO-ENERGETICA

Come insieme di impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili e di cogenerazione la Smart Polygeneration Microgrid nasce in un modo molto particolare, e cioè con un finanziamento pubblico esterno all'ente proprietario del 100% per la sua realizzazione. Questa condizione implica una serie di conseguenze sulle tipologie di incentivi di cui potrà godere. Alcuni incentivi, ad esempio il Conto Energia per il Fotovoltaico, nascono infatti per coprire nel tempo il costo di investimento elevato della tecnologia, e sono accessibili solo a patto che finanziamenti pubblici in conto capitale siano limitati ad una minima parte dell'investimento. E' altresì poco definito, al momento, l'assetto proprietario e gestionale della SPM.

Gran parte di questo tipo di problematiche, soprattutto circa gli impianti da fonte rinnovabile, dovrà essere discusso con gli enti e le aziende competenti (Autorità per l'Energia Elettrica ed il Gas, Agenzia delle Entrate, GSE, GME, Enel Distribuzione e fornitori di energia elettrica e gas naturale) nel corso dello sviluppo del progetto.

Nel seguito, si considererà come tariffa equivalente per la produzione di elettricità il costo sostenuto dal Campus per l'acquisto di energia dalla rete usando come riferimento le bollette del 2010. Nei prossimi paragrafi si valuterà la performance energetico-economica ed ambientale dei seguenti interventi:

- cogenerazione (microturbina in esercizio invernale);
- trigenerazione (microturbina in esercizio estivo e chiller);
- impianto fotovoltaico;
- impianti CSP;
- isolamento copertura palazzina Delfino.

Sono trascurati dall'analisi le colonnine di ricarica veicoli elettrici, in quanto non è possibile ad oggi valutare quanto verranno impiegate (il loro contributo sarà comunque piccolo rispetto all'energia prodotta), e l'accumulo elettrico, le cui finalità sono prettamente di ricerca e la cui taglia è piccola rispetto ai quantitativi di energia prodotta.

I parametri comuni a tutte le valutazioni, relativi al costo dell'energia elettrica acquistata dalla rete ed al valore dell'energia elettrica prodotta, impiegati per tutti gli impianti, sono riportati in Tabella 5.5.

Tabella 5.5: Parametri Economici ed Energetici Comuni

Costo energia elettrica acquistata	0,182	Eur/kWh
Di cui imposte	0,014	Eur/kWh
Di cui IVA	0,030	Eur/kWh
Risparmi da elettricità autoprodotta (Costo lordo energia acquistata meno imposte tranne IVA)	0,167	Eur/kWh
Costo gas naturale con accisa	0,700	Eur/m ³
	0,0721	Eur/kWh

5.2.1 Cogenerazione e Trigenerazione

La valutazione della performance economica di questo sistema si basa sui seguenti aspetti normativi e fiscali:

- la cogenerazione è assimilata alle fonti rinnovabili e gode di priorità di dispacciamento, il ritiro dell'energia prodotta eventualmente in eccesso deve quindi essere garantito;
- la tariffa di cui si può usufruire in caso di cessione alla rete è molto bassa (pari al costo alla produzione dell'elettricità da fonte convenzionale), salvo accordi bilaterali più vantaggiosi con distributori di energia. Come base e vista l'analisi dei consumi del campus, è possibile assumere che tutta l'energia prodotta possa essere autoconsumata;
- in caso di autoconsumo, non si paga l'IVA sul kWh elettrico prodotto ma si pagano comunque le altre imposte (imposta erariale ed addizionale enti locali);
- si può usufruire della defiscalizzazione del gas naturale (su cui le imposte oggi gravano per il 39% circa del prezzo di vendita) fino a un massimo di 0,25 m³ di gas per kilowattora elettrico generato.

La Committente potrà inoltre valutare la possibilità di ottenere dei titoli di efficienza energetica (noti anche come “certificati bianchi”) per l’energia prodotta, in funzione dell’onerosità del loro ottenimento. La taglia di questi titoli è effettivamente grande rispetto alle dimensioni degli impianti in questione, e si è preferito non considerarli in questa valutazione.

A valle di queste valutazioni, e considerati i parametri della microturbina Capstone C65 iCHP (efficienza elettrica pari al 29%) si è proceduto a calcolare le condizioni di esercizio dell’impianto in cogenerazione ed in trigenerazione, usando come riferimento i valori economici delle bollette di dicembre 2010. I valori di partenza sono indicati Tabella 5.6.

Si è considerato che la microturbina verrà impiegata normalmente a massima potenza contribuendo al carico base del riscaldamento per circa 2000 ore all’anno, ossia per l’intero periodo di riscaldamento (la potenza termica generata dalla microturbina, pari a 112 kW, è molto limitata rispetto alla domanda del campus) generando nel contempo 65 kW di energia elettrica.

Tabella 5.6: Parametri Economici ed Energetici Impiegati

Costo energia elettrica acquistata	0,182	Eur/kWh
Di cui imposte	0,014	Eur/kWh
Di cui IVA	0,030	Eur/kWh
Risparmi da elettricità prodotta in cogenerazione (Costo lordo energia acquistata meno imposte tranne IVA)	0,167	Eur/kWh
Costo gas metano con accisa	0,700	Eur/m ³
Costo gas metano senza accisa	0,427	Eur/m ³
Quota entro cui la cogenerazione non paga l'accisa	0,25	m ³ /kWel
Produzione elettrica per mc di metano (con Capstone C65 iCHP)	2,813	kWel/ m ³
Consumo gas per kWel prodotto	0,355	m ³ /kWel
Quota senza accisa	70%	
Quota con accisa	30%	
Costo effettivo gas per cogenerazione	0,508	Eur/m ³
Potere Calorifico Inferiore Gas Naturale	9,7	kWh/m ³
Costo gas metano senza accisa	0,0440	Eur/kWh
Costo gas metano con accisa	0,0721	Eur/kWh
Costo gas metano, media per cogenerazione	0,0523	Eur/KWh

Si è quindi calcolata sulla base di questi parametri di utilizzo la quantità di elettricità prodotta, la quantità di calore prodotto e la quantità di gas naturale consumato dalla turbina, con i conseguenti costi e risparmi, e lo si è paragonato con la situazione attuale (assumendo un’efficienza delle caldaie in centrale termica pari al 94%).

I risultati di questa analisi sono riportati in Tabella 5.7 per gli aspetti energetici. In questo confronto, si è considerata la quantità di gas consumato nella situazione attuale per produrre la stessa quantità di calore che produrrà la turbina.

Tabella 5.7: Cogenerazione e Stato Attuale – Aspetti Energetici (Valori Annui)

Progetto		Stato attuale	
Consumo gas	448 MWh	Consumo di gas necessario a produrre 224 MWh di calore	238 MWh
Produzione di elettricità	130 MWh _{el}		
Produzione di calore	224 MWh _{th}	Produzione di calore	224 MWh _{th}

Tabella 5.8 illustra il confronto economico, considerando i costi del gas impiegato a seguito del progetto con la riduzione dell'accisa ogni 0,25 m³/kWh_{el} prodotto. Il confronto è fatto considerando i costi (in negativo per entrambi gli scenari) necessari per l'acquisto del gas in negativo, ed i risparmi conseguenti dall'autoproduzione di elettricità in positivo. Nello scenario di progetto, si sono considerati costi di gestione addizionali pari a 3000 Euro (il 2% del costo della microturbina).

Tabella 5.8: Cogenerazione e Stato Attuale – Aspetti Economici (Valori Annui)

Progetto		Stato attuale	
Costo acquisto di gas	-23500 Eur	Costo acquisto di gas	-17200 Eur
Risparmi da produzione elettrica	21700 Eur		
Costo di manutenzione	-3000 Eur		
Totale	-4800 Eur	Totale	-17200 Eur

Come si può osservare, la presenza del cogeneratore permetterà un risparmio annuo pari a circa 12400 Euro.

L'utilizzo della microturbina nel periodo estivo per l'alimentazione del chiller ad assorbimento permetterà la generazione di acqua refrigerata che andrà a coadiuvare l'attuale pompa di calore elettrica al servizio della biblioteca. Il chiller ad assorbimento dissiperà il calore in eccesso attraverso una torre evaporativa. Va osservato come l'acqua di raffreddamento del chiller, in uscita ad una temperatura di circa 35 °C, ha una temperatura bassa per uso acqua calda sanitaria, ma potrebbe essere utilmente impiegata per altri scopi (piscine, ad esempio).

Tabella 5.9: Parametri Impiegati per la Trigenerazione

Potenza elettrica generata	65	kW _{el}
Calore cogenerato	112	kW _{th}
Potenza frigorifera generata	65	kW _{fr}
Costi per manutenzione chiller	500	Eur/anno
Autoconsumi elettrici chiller e accessori	6	kW _{el}
COP pompa di calore esistente	3	

Si è ipotizzato che il sistema trigenerativo fornirà il carico base del raffrescamento lavorando a massima potenza per circa 1500 ore all'anno, operando circa 12 ore al giorno per 120 giorni tra maggio e settembre, fornendo circa 65 kW di freddo al sistema. Tabella 5.9 mostra i parametri utilizzati nella presente valutazione (per quanto riguarda consumi e costi dell'energia elettrica e del gas, nonché le caratteristiche della microturbina, valgono i parametri impiegati per la cogenerazione).

Gli autoconsumi sono stimati a 6 kW, considerando circa il 50% del consumo elettrico massimo del sistema (11 kW come valore nominale di spunto) più 0.5 kW per i sistemi ausiliari. Il COP della pompa di calore esistente è stato assunto conservativamente pari a 3, valore molto conservativo considerando l'intero sistema di climatizzazione ma ragionevole considerando la sola pompa di calore (il sistema di distribuzione del freddo rimarrebbe in comune). Si è quindi calcolata la quantità di elettricità prodotta, la quantità di freddo prodotto e la quantità di gas naturale consumato dalla turbina, con i costi e risparmi conseguenti, e lo si è paragonato con la situazione attuale in cui la stessa quantità di freddo viene prodotta con la pompa di calore elettrica.

I risultati dell'analisi sono riportati in Tabella 5.10 per gli aspetti energetici. In questo confronto, si è considerata la quantità di gas consumato nella situazione attuale per produrre la stessa quantità di calore che produrrà la turbina.

**Tabella 5.10: Trigenerazione e Stato Attuale – Aspetti Energetici
(Valori Anni)**

Progetto		Stato attuale	
Consumo gas	336 MWh	Energia elettrica impiegata	32.5 MWh _{el}
Produzione di elettricità al netto degli autoconsumi del chiller	88.5 MWh _{el}		
Produzione di freddo	97.5 MWh _{fr}	Produzione di freddo	97.5 MWh _{fr}

Tabella 5.11 illustra il confronto economico, considerando i costi del gas impiegato a seguito del progetto con la riduzione dell'accisa ogni 0,25 m³/kWh_{el} prodotto. Il confronto è fatto considerando i costi in negativo, ed i risparmi in positivo.

**Tabella 5.11: Trigenerazione e Stato Attuale – Aspetti Economici
(Valori Anni)**

Progetto		Stato attuale	
Costo acquisto di gas	-17600 Eur	Costo acquisto di energia elettrica	-5900 Eur
Risparmi da produzione elettrica	14800 Eur		
Costo di manutenzione	-500 Eur		
Totale	-3300 Eur	Totale	-5900 Eur

Come si può osservare, la presenza del cogeneratore permetterà un risparmio annuo pari a circa 2600 Euro. Questi benefici economici potrebbero essere notevolmente incrementati impiegando il calore di scarto del chiller dissipato in torre evaporativa.

5.2.2 Impianto Fotovoltaico

L'impianto fotovoltaico avrà una taglia complessiva pari a 49,9 kWp, un angolo di tilt pari a 30° ed uno di azimut pari a 30° rispetto al Sud. La posizione in cui l'impianto è collocato non implica ombreggiamenti sensibili in nessuna direzione. Le perdite di sistema dovute a sbilanciamento, temperatura operativa, sporcizia e perdite elettriche dovute all'inverter ed agli altri ausiliari sono state stimate al 14% circa. In queste condizioni, la produzione attesa è stata calcolata mediante PVGIS (strumento della Commissione Europea per il calcolo della produttività di un impianto fotovoltaico, basato sulla mappatura della radiazione incidente – <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>) come pari a circa 58300 kWh all'anno. I costi di manutenzione e gestione annuale sono stati stimati a circa 2000 Euro all'anno. I risparmi dovuti all'autoproduzione di energia, considerando il valore di 0,167 Eur/kWh per l'energia autoprodotta, sono pari a 9750 Euro all'anno. In questo modo, il bilancio annuale complessivo dell'impianto conduce ad un ricavo annuo pari a 7750 Euro all'anno.

Tabella 5.12: Fotovoltaico – Aspetti Energetici ed Economici

Potenza nominale impianto fotovoltaico	49.9 kWp
Produzione annua stimata	58300 kWh/anno
Risparmi da energia prodotta	9750 Eur/anno
Costi di gestione	2000 Eur/anno
Bilancio economico impianto	7750 Eur/anno

5.2.3 Impianti CSP

Gli impianti CSP rappresentano gli impianti di generazione più sperimentali e meno tecnologicamente maturi presenti della SPM. La loro taglia ridotta fa sì che anche la generazione sia ridotta, mentre considerando il fatto che si tratta di impianti quasi allo stadio prototipale e che sono caratterizzati da molte parti in movimento, potenzialmente soggette ad usura, i costi di manutenzione considerati sono piuttosto alti rispetto alle altre componenti della SPM.

Questi impianti hanno una potenza elettrica complessiva pari a 2 kWp, ed una termica pari a 6 kWp.

I CSP impiegati hanno un sistema di inseguimento solare su due assi. Questo permette un notevole incremento della radiazione intercettata dalla superficie del concentratore, ma la porzione di energia che viene effettivamente captata è soltanto quella diretta.

Tenuti presenti questi aspetti, si è realizzato il diagramma clinometrico sulle due posizioni del cogeneratore e si è calcolata attraverso uno strumento software la producibilità annua.

La producibilità elettrica è stimata in circa 3550 kWh all'anno. La producibilità termica lorda è pari a 10700 kWh all'anno, ma si è stimato che solo un 60% circa di questa energia verrà impiegato. La produzione termica verrà infatti impiegata per preriscaldare l'acqua calda sanitaria della nuova palazzina residenze, il cui fabbisogno presumibilmente non sarà molto alto nel periodo estivo.

L'acqua calda nella palazzina residenze è prodotta con una pompa di calore (integrata da alcuni collettori solari), per la quale si è assunto in questo calcolo un COP pari a 3.

Tabella 5.13 indica i principali aspetti energetici ed economici dell'impianto. Considerati i costi di gestione, la performance economica sarà negativa.

Tabella 5.13: CSP – Aspetti Energetici ed Economici

Potenza nominale elettrica	2 kW _{el}
Energia elettrica prodotta	3550 kWh/anno
Risparmi da energia elettrica prodotta	600 Eur/anno
Potenza nominale termica	6 kW _{th}
Produzione di calore lorda	10700 kWh/anno
Produzione di calore utilizzata	6400 kWh/anno
Energia elettrica consumata dalla pompa di calore esistente per produrre la stessa quantità di calore oggi	2130 kWh
Risparmi da produzione termica	390 Eur/anno
Costi di gestione annui	-1000 Eur/anno
Bilancio economico annuo	-10 Eur/anno

5.2.4 Isolamento Copertura Palazzina Delfino

L'isolamento della copertura della palazzina Delfino interessata dall'installazione dell'impianto fotovoltaico comporterà una sensibile riduzione delle dispersioni termiche tra interno ed esterno, con una riduzione sia dei consumi per il riscaldamento invernale che di quelli per il raffrescamento estivo.

La valutazione della trasmittanza della copertura come è oggi è stata ipotizzata sulla base delle indicazioni ottenute dalle prove statiche. Si è ipotizzata una struttura a travetti di calcestruzzo alti 30cm e larghi 25 cm, inframmezzati da due linee di mattoni forati spessi 3 cm ciascuno e separate da una camera d'aria alta 24 cm e larga 80 cm. Al di sopra di travetti e mattoni si è ipotizzata una gettata, spessa mediamente 10 cm, al di sopra del quale è posata la guaina. La trasmittanza complessiva è stata calcolata assumendo i valori riportati in Tabella 5.14.

Tabella 5.14: Caratteristiche Termiche degli Elementi della Copertura

Elemento	spessore (m)	% di superficie della copertura interessata	Conducibilità termica λ (W/m K)	Trasmittanza termica U (W/m ² K)	Resistenza termica R (m ² K/W)
mattono forato	0,06	76%	0,21	3,5	0,29
Travetti Calcestruzzo non armato	0,3	24%	1,4	4,67	0,21
Camera d'aria	0,24	76%	-	6,25	0,16
Gettata calcestruzzo	0,1	100%	1,4	14	0,071
Rest		100%		25	0,04
Rint		100%		10	0,1

I valori impiegati sono conservativi. Si sono impiegati per il calcestruzzo un valore di conducibilità termica molto basso, ipotizzando un valore tipico per strutture senza armature, così come per il mattone si è impiegato un valore tipico per i mattoni di oggi. La struttura, risalente al periodo tra le due guerre, impiega quasi certamente meno armature metalliche e

mattoni più spessi di elementi equivalenti in strutture di oggi. L'effetto isolante della guaina è stato ritenuto trascurabile.

Con questi valori si ottiene una trasmittanza pari a $1,72 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

La posa di uno strato di schiuma sintetica (conducibilità pari a $0,04 \text{ W/mK}$) di 12 centimetri, seguito da un massetto (conducibilità $0,9 \text{ W/mK}$) di 5 centimetri e di una nuova guaina (dall'isolamento termico anch'essa trascurabile) riduce la trasmittanza media della struttura a $0,24 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, con conseguente riduzione delle perdite termiche.

Si è valutato il risparmio energetico conseguente a questo intervento per il solo periodo invernale, valutando la diminuzione delle perdite per trasmissione attraverso la copertura con il metodo dei gradi giorno, utilizzando una temperatura interna di riferimento di $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Nella valutazione del risparmio energetico conseguibile, si è considerata un'efficienza del sistema di riscaldamento della palazzina pari al 90%, ipotizzando un 10% di perdite complessivo per sistema di distribuzione e caldaie. I risultati sono riportati in Tabella 5.15.

Tabella 5.15: Isolamento Copertura – Aspetti Energetici ed Economici

Superficie interessata dall'intervento	1088 m ²		
Gradi giorno Savona	1481 GG		
gradi ora	35544 Gh		
	Situazione attuale	Stato di progetto	Differenza
Trasmittanza (W/m ² K)	1,72	0,24	1,48
Perdite per trasmissione attraverso la superficie (kWh/anno)	66500	9200	-57200
Energia primaria (gas) necessaria (kWh/anno, 10% di perdite)	73900	10300	-63600
Costo gas	5300	740	4560

5.2.5 Incidenza Complessiva della SPM sui Bilanci Energetici del Campus

Si è ritenuto utile valutare a livello economico ed energetico l'incidenza della SPM sull'assetto energetico del campus. Per ciascuno degli interventi analizzati, si sono valutate gli effetti di bilancio degli impianti analizzati sui consumi di elettricità e di gas nonché la loro performance economica. I risultati, mostrati in Tabella 5.16, considerano sia le produzioni/risparmi (in positivo) che i consumi aggiuntivi (in negativo) rispetto alla situazione attuale.

Il bilancio economico è piuttosto limitato rispetto alle dimensioni del progetto, questo è dovuto in particolare all'assenza di incentivi sensibili nelle produzioni. Come risultato i risparmi economici conseguenti agli interventi previsti sono stimati in circa 27000 Euro all'anno.

Un'ultima analisi riguarda l'incidenza della SPM rispetto ai consumi annui del campus.

La SPM, con una produzione complessiva di circa 315000 kWh di elettricità all'anno, coprirà il 34% dei consumi annui del campus (pari a 928 MWh nel 2010).

I consumi di gas naturale, invece, aumenteranno di 482600 kWh, pari a circa il 32% dei consumi attuali (pari a 1490 MWh nel 2010) questo aumento, dovuto ai consumi della microturbina, serve a generare circa l'80% dell'elettricità prodotta dalla SPM e prode annualmente anche 97500 kWh di freddo in estate e 224 MWh in inverno, quest'ultimo pari a circa il 15% del calore impiegato nel periodo invernale.

Tabella 5.16: Bilancio Energetico del Progetto

	Cogenerazione	Trigenerazione	Fotovoltaico	CSP	Isolamento copertura	Totale
bilancio energia elettrica (kWh/anno)	130000	121000	58300	5700	-	315000
bilancio gas naturale (kWh/anno)	-210000	-336000	-	-	63600	-482600
bilancio economico (Eur/anno)	12430	2570	7740	-10	4590	27320

ALV/ANP/GIC/CSM/RC:mcs