

Gianluca Pozzi, <https://orcid.org/0000-0003-1458-322X>

Giulia Vignati, <https://orcid.org/0000-0002-1543-1298>

Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, Politecnico di Milano, Italia

gianluca.pozzi@polimi.it

giulia.vignati@polimi.it

Abstract. Il contributo indaga gli aspetti di sostenibilità tecnica, economica e sociale della transizione energetica su due differenti scale: da un lato viene affrontato il tema delle FER nel sistema energetico nazionale introducendone la struttura, i limiti e le possibilità; dall'altro viene presentato il caso della riqualificazione energetica di un piccolo edificio di proprietà pubblica, come caso studio esemplare di un orientamento sistemico di strategie possibili che adotta soluzioni straordinarie non tanto nella tecnica, ma soprattutto nel processo progettuale. Obiettivo è proporre una metodologia di approccio per valorizzare le potenzialità del sito, nella certezza che le strategie a breve termine debbano necessariamente passare dalla consapevolezza di tutti gli attori coinvolti (compresi gli utenti finali) e attraverso sistemi di stoccaggio locale dell'energia.

Parole chiave: Disaccoppiamento energetico; Accumuli energetici; Multifunzionalità dei sistemi; Gestione "utenti"; Inerzia energetica.

Generale e locale, tra fonti rinnovabili e sistema energetico integrato

Rispetto all'impegno europeo di rendere l'energia accessibile, affidabile, sostenibile e moderna¹, l'accelerazione verso la transizione energetica necessita una duplice riflessione, che coinvolge gli utenti finali come soggetti attivi e consapevoli: da un lato, sull'integrazione tecnologica per gestire i sistemi di produzione di energia da fonti rinnovabili non programmabili, disaccoppiando la produzione dal suo utilizzo attraverso l'accumulo; dall'altro sull'approccio sistemico, innescando processi per ridurre la domanda energetica.

Questo contributo si focalizza sulla valorizzazione dei sistemi di accumulo, sia a livello sistemico-nazionale sia a livello locale, con l'esperienza di un caso studio che, a partire dalle potenzialità e risorse del sito, ha individuato adeguate strategie di resilienza ed ha sperimentato azioni replicabili, attraverso il coinvolgimento dell'utente, per rendere sostenibile un edificio di proprietà pubblica.

Rispetto all'impegno europeo di rendere l'energia accessibile, affidabile, sostenibile e moderna¹, l'accelerazione verso la

Viene adottata una duplice metodologia: quella deduttiva (tratta da un PRIN su sistemi energetici²) evidenzia le problematiche e i limiti delle FER per la produzione diffusa nel sistema nazionale (Daglio and Ginelli, 2018), individuando la necessità di azioni locali di interazione con la rete attraverso gli accumuli per un uso locale dell'energia. Quella induttiva parte dalla riqualificazione energetica di un edificio pubblico (tratta da una ricerca conto terzi³) che dimostra come la soluzione apparentemente più scontata (un cappotto termico in questo caso), non solo non sia la più conveniente ambientalmente ed economicamente, ma che l'uso adeguato delle risorse presenti in loco (un bacino d'acqua artificiale poco distante) abbinato a un'ottimizzazione d'uso dell'edificio da parte degli utenti, consenta importanti riduzioni di consumi e CO₂. Il risultato definisce criteri progettuali per la riqualificazione energetica che, gestendo al meglio le risorse, equilibri il rapporto tra nuovi atteggiamenti consapevoli dell'utente integrati a sistemi di stoccaggio, per una reale sostenibilità (Fig. 1).

Incentivi ed efficienza energetica: problemi e prospettive delle rinnovabili

L'incentivazione per l'efficienza energetica non sempre ha contribuito al miglioramento dell'efficienza globale del sistema elettrico nazionale: nel 2011 le FER hanno superato come potenza gli impianti da fonte idroelettrica, a discapito di quelli termoelettrici. Dal 2014 la potenza totale lorda è in diminuzione, poiché la priorità di dispacciamento dell'energia prodotta da rinnovabile rende antieconomica la produzione da fonte combustibile. Inoltre, i grandi im-

L'incentivazione per l'efficienza energetica non sempre ha contribuito al miglioramento dell'efficienza globale del sistema elettrico nazionale: nel 2011

Resilience strategies for energy adequacy, between energy storage and conscious behaviours

Abstract. This paper examines the technical and economic sustainability aspects of energy transition on two different scales. On the one hand, it investigates the topic of RES in the national energy system, describing structure, limits and possibilities. On the other hand, it presents the energy requalification case study of a small public building as an exemplary case of a systemic approach that adopts extraordinary solutions in terms of design process. The aim of the paper is to propose a methodological approach to improve site potential, assuming that short-term strategies must necessarily involve all the actors (including end-users) through local energy storage systems.

Keywords: Energy decoupling; Energy storage; Multifunctional systems; "User" management; Energy inertia.

General and local, between renewable sources and integrated energy system

Considering the European goal of making energy affordable, reliable, sustainable, and modern¹, the acceleration towards energy transition requires a dual reflection, engaging active and informed users, precisely on technological integration to manage energy production systems from non-programmable renewable sources by separating energy production from its use through energy storage; and on a systemic approach enabling processes that can reduce energy requirements.

This paper focuses on making the most of energy storage systems, both at national and local level, through the experience of a case study. Starting from site potential and resources, the case study identified resilience strategies and experimented with replicable

actions by involving users to make a public building sustainable.

A double methodology is adopted; to be precise, the deductive one (from a PRIN on energy systems²) highlights the problems and limits of energy production by RES in the national system (Daglio and Ginelli, 2018). This reflection identifies the necessity for local interaction with the energy network, for local use of energy through storage. The inductive one starts from energy requalification of a public building (taken from a private Research³) and shows how the apparently most obvious solution (a thermal coat in this case) is not the most energetically and economically suitable one. Furthermore, the case study demonstrates that adequate use of on-site resources (an artificial water basin nearby) combined with optimisation of building use allow significant reductions in

pianti termoelettrici mal si adattano ad erogare potenza per brevi periodi di tempo con ridottissimo preavviso (incostanza della fonte rinnovabile) e i produttori preferiscono tenere spente queste centrali. Pertanto, l'assenza di supporto del sistema termoelettrico sui sistemi rinnovabili ha evidenti ripercussioni sulla costanza dell'erogazione di energia elettrica.

Nello specifico, l'incremento del fotovoltaico ha comportato uno squilibrio nel sistema energetico nazionale che impedisce di sfruttare a pieno il patrimonio FER esistente. Tale patrimonio è in forte espansione (dovrà più che raddoppiare nei prossimi 30 anni⁴), rendendo questa prospettiva ancora più critica. Tre sono i principali nodi da risolvere dovuti all'immissione in rete di energia prodotta in maniera diffusa e incostante: i) anomalie, oscillazioni di frequenze e tensione; ii) sovraccarico su alcune linee di trasmissione esistenti; iii) disadattamento temporale tra domanda e offerta.

Questo dal lato della produzione; per quanto attiene al lato del fruitore, rispetto ad una crescita compatibile con le esigenze globali, il consumo energetico dovrà ridursi nei prossimi anni, per una transizione "morbida" ad un sistema energetico sostanzialmente *carbon free*.

In riferimento ai dati⁵ sulla produzione da fonte rinnovabile annua e sull'andamento dei consumi energetici in Italia, si possono riassumere le seguenti considerazioni.

1. Il sistema elettrico nazionale⁶ ha una sovraccapacità produttiva rispetto alla domanda. A fronte di una potenza efficiente lorda installata di circa 120.000 MW (con potenza termoelettrica di circa 62.000 MW), il carico massimo richiesto dalla rete non supera i 55.000 MW; tale situazione ha determinato una serie di problemi, come la difficoltà di

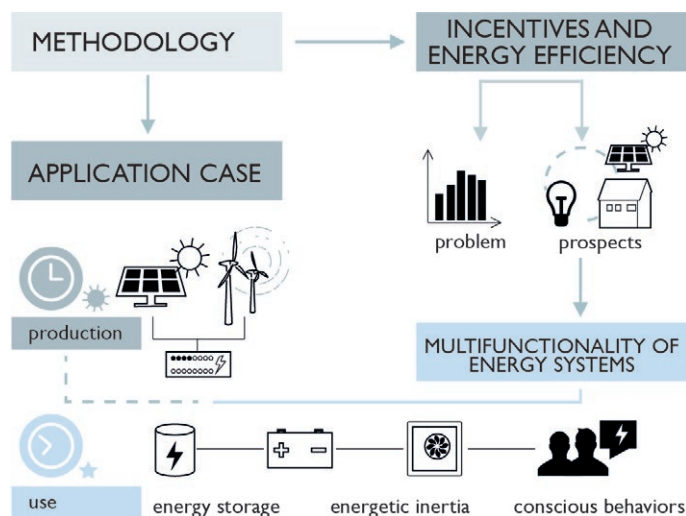
consumption and CO₂. The result defines design criteria for energy requalification that, starting from its rational use of on-site resources, balances the relationship between new and informed attitudes for users, integrated with energy storage systems, for genuine sustainability (Fig. 1).

Incentives and energy efficiency: problems and perspectives of renewable energies

The incentive for energy efficiency has not always effectively contributed to improve the overall efficiency of the national electricity system; indeed, in 2011, RES surpassed hydroelectric power plants to the detriment of thermoelectric ones. The total gross power has been decreasing since 2014 as the priority of energy dispatch (produced from renewable sources) makes the production from non-renewable

sources uneconomical. In addition, large thermoelectric plants are not suitable for supplying energy for short periods of time with very short notice (in relation to the inconstancy of renewable sources), and producers prefer to keep these plants switched off. Therefore, the absence of support from the thermoelectric system for renewable plants has obvious repercussions on the constancy of the electricity supply.

Specifically, the increase in photovoltaics has made the national energy system unstable, determining the conditions under which the existing renewable energy stock cannot be fully exploited. This stock of renewable energy is growing (it will more than double in the next 30 years⁴). There are three main issues to be resolved in order to spread energy (from renewable sources) into the grid: i) anomalies and



remunerazione delle grandi centrali termoelettriche, costrette a marciare a regime ridotto per la scarsità della domanda.

2. Per superare il *gap* produttivo di energia elettrica, se ne potrebbe incrementare l'uso per fini termici sfruttando pompe di calore, prescritte per gli edifici pubblici nel 1991 e mai realmente diffuse; mentre l'incentivo dei trasporti elettrici potrebbe garantire un uso più adeguato di tale sovraccapacità produttiva.
3. Un incentivo sinora sottoutilizzato è l'uso termico diretto della fonte rinnovabile, ricavato sia da fonte solare termica, sempre disponibile anche se discontinua, che dall'uso di cascami energetici legati ai processi produttivi o dalla produzione di energia elettrica.

Verso un sistema di accumuli integrati

chiavi di volta della gestione energetica nel futuro prossimo: a fianco delle batterie (ancora poco efficienti e con alti impatti

Rispetto allo scenario descritto, si identificano i sistemi di accumulo come una delle possibili

oscillations of frequencies and voltage; (ii) overload on certain existing transmission lines; (iii) temporal mismatch between supply and demand.

This concerns production. Regarding the user, to allow a growth compatible with global needs, energy consumption will have to level out and decrease in the coming years for a "soft" transition to a substantially carbon-free energy system.

The following considerations can be formulated with reference to data⁵ on annual production from renewable sources and the trend of energy consumption in Italy.

1. The national electricity system⁶ is characterised by overcapacity in relation to demand. With a gross efficient installed capacity of approximately 120,000 MW (with a thermoelectric capacity of approximately 62,000 MW), the maximum load

required by the grid does not exceed 55,000 MW. This situation has led to a series of problems, including the difficulty of remuneration of large thermal power stations, which are forced to operate at reduced speed due to the scarcity of demand.

2. To overcome the electricity production gap, the use of electricity for thermal uses could be increased by using heat pumps for production, already prescribed for public buildings in 1991 and never really applied, while the incentive of electric transport could guarantee a more adequate use of this production overcapacity.
3. An incentive so far underused is the direct thermal use of the renewable source. This can be obtained both from the solar thermal source, always available even if discontinuous, and from the use of energy

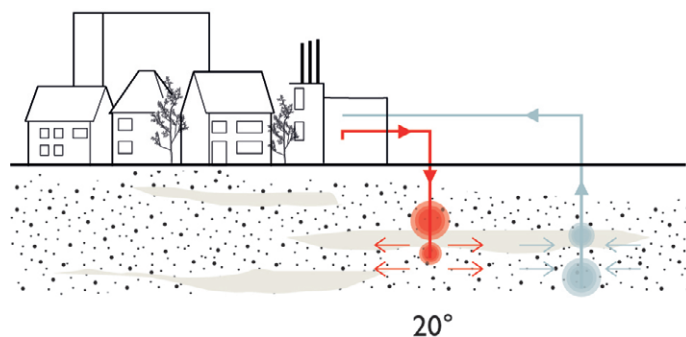
ambientali ed economici) è fondamentale promuovere accumuli termici, più semplici, più economici e certamente più sostenibili, integrati in piccole reti locali, a loro volta connesse nella rete nazionale⁷. Essi potranno consentire di disaccoppiare la produzione di energia, non programmabile, dal suo utilizzo finale, migliorando l'affidabilità e la flessibilità delle reti elettriche (Liberatore, 2020).

«Si avranno micro-reti del tutto autonome ma totalmente interconnesse tra loro, in grado di essere in genere autonome, quindi autoproduttrici, ma in grado di assorbire o erogare energia da/verso il resto del sistema elettrico solo nei momenti di necessità» (Campagna, 2020).

Poiché l'accumulo termico rappresenta una fattibile possibilità di sfruttamento in breve tempo delle risorse rinnovabili (Ramos-Escudero, 2022), vengono illustrati alcuni casi in cui accumuli idrici riducono considerevolmente i fabbisogni energetici di grandi complessi edilizi o interi quartieri.

In Europa sono diffusi i sistemi ATEs (Aquifer Energy Thermal Storage) (Stemmler et al., 2022), basati sullo stoccaggio e recupero di energia termica dal sottosuolo per il riscaldamento e raffreddamento degli edifici (Bu et al., 2022). Sono sistemi bidirezionale a circuito aperto (Fig. 2), che utilizzano almeno un pozzo di acqua sotterranea per immagazzinare il calore in eccesso in estate, per poi cederlo d'inverno (Schüppler et al., 2019).

L'Arlanda Airport Aquifer (Stoccolma) è un progetto di accumulo di energia termica da circa 9 GWh, che fornisce all'aeroporto dal 2009 calore e refrigerazione, riducendo la dipendenza dall'elettricità e dal teleriscaldamento, tramite la falda acquifera situata a pochi chilometri dai terminal⁸. Lo stoccaggio e il recupero dell'energia termica avvengono mediante estrazio-



ne e iniezione di acqua di falda (Andersson, 2012). In questo modo l'aeroporto può ridurre il consumo energetico annuo di 19 GWh⁹.

Un altro caso significativo di accumulo artificiale termico si trova nei pressi Kolding¹⁰ (Danimarca), in cui l'installazione di un impianto solare termico di oltre 52.000 mq è connesso ad un bacino artificiale di 203.000 mc di acqua, in grado di stoccare per alcuni mesi l'energia prodotta (l'impianto ha una potenza di 37 MWth).

Un'ulteriore tipologia di accumuli, in questo caso di energia potenziale, ma che potrebbe essere integrato con accumuli termici, sono i bacini idroelettrici di accumulo artificiale: una recente ricerca della Australian National University¹¹ stima in 616.000 i siti nel mondo potenzialmente adatti a bacini di accumulo "pompati", che potrebbero immagazzinare sino a 23 milioni di GWh. Inoltre, i bacini artificiali d'acqua, data la recente siccità estiva, possono integrarsi nei sistemi di accumulo e stoccaggio diffuso per l'irrigazione, arrivando a un livello di multifunzionalità dei sistemi energetici oggi imprescindibile, oltre a fungere da potenziale riserva per alimentare le centrali idroelettriche in assenza di sole e vento, innescando sinergie tra settori diversi.

Sulla scorta di questa ultima considerazione, i paragrafi seguenti affrontano un cambio di scala dell'indagine, passando dai grandi bacini idrici ad un involucro artificiale esistente, nato

waste linked to production processes, for example, energy waste that can be exploited in the production of electricity.

Towards an integrated energy storage system

In the described scenario, it seems that we can identify energy storage systems as one of the possible keystones of energy management in the short term. Alongside batteries (still inefficient and with high environmental and economic impacts), it is essential to promote thermal storage systems as they are simpler, cheaper, certainly more sustainable, and can be easily integrated into small local networks that are, in turn, connected to the national network⁷. This type of storage will allow the decoupling of non-programmable energy production from its final use, improving the reliability and flexibility

of electricity grids (Liberatore, 2020). «Si avranno micro-reti del tutto autonome ma totalmente interconnesse tra loro, in grado di essere in genere autonome, quindi autoproduttrici, ma in grado di assorbire o erogare energia da/verso il resto del sistema elettrico solo nei momenti di necessità» (Campagna 2020).

Thermal energy storage is a feasible possibility of exploiting renewable resources in the short term (Ramos-Escudero 2022). The following paragraphs illustrate some cases in which water storage considerably reduces the energy needs of a large building complex or of entire neighbourhoods.

ATES (Aquifer Energy Thermal Storage) systems (Stemmler et al., 2022) are widespread in Europe, based on the storage and recovery of thermal energy in the subsoil for heating and cooling buildings (Bu et al., 2022). They are bi-

directional open-circuit systems (Fig. 2), which use at least one underground water well to store surplus heat in summer and release it in winter (Schüppler et al., 2019).

Arlanda Airport Aquifer (Stockholm) is a thermal energy storage project of about 9 GWh, in operation since 2009. It provides the airport with natural and renewable heat and refrigeration, reducing dependence on electricity and district heating by exploiting an aquifer located a few kilometres from the air terminals⁸. The storage and recovery of thermal energy take place through the extraction and injection of groundwater (Andersson, 2012). The airport can thus reduce its annual energy consumption by 19 GWh⁹.

A significant case of artificial thermal storage is located near Kolding¹⁰ (Denmark), where the installation of a solar thermal system of over 52,000 square

metres is connected to an artificial basin of 203,000 cubic metres of water, which can store the energy produced for some months (the plant has a power of 37 MWth).

Artificial hydroelectric basins are a further type of storage, in this case of potential energy that could be integrated with thermal storage. A recent study by the Australian National University¹¹ estimates that there are 616,000 sites in the world potentially suitable for "pumped" storage, which could store up to 23 million GWh. In addition, given the recent summer drought, artificial water basins can be integrated into storage systems for irrigation, reaching a level of energy system multifunctionality that is essential today, as well as acting as a potential reserve to power hydroelectric plants in the absence of sun and wind, triggering synergies between different sectors.

per altri scopi. Il caso è trattato come esempio di una pratica necessaria in cui, per limitare gli impatti ambientali negativi dei grandi invasi, è auspicabile, come anche suggerito da Campagna (2020) per i sistemi elettrici, una rete di bacini diffusi di cui il caso studio è rappresentativo anche per i molti altri invasi artificiali lasciati, per esempio, da cave in disuso.

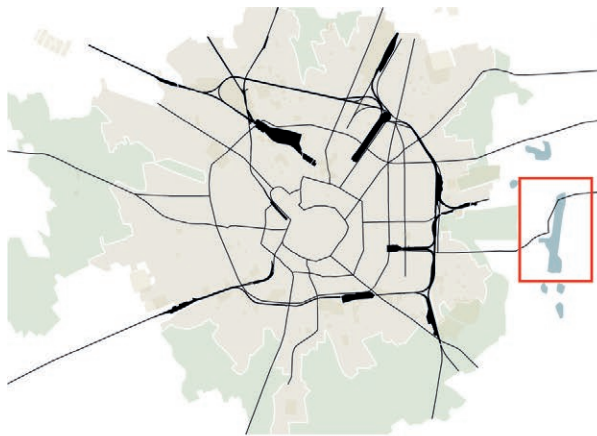
Energia e paesaggi da abitare: un caso applicativo nella città di Milano

Di seguito sono illustrate le potenziali strategie di sfruttamento di un bacino idrico artificiale come accumulo energetico¹², indagate per l'aggiudicazione di un bando indetto dalla città

metropolitana di Milano, il cui oggetto era la riqualificazione e gestione di un edificio pubblico ricreativo inserito nel parco del bacino dell'Idroscalo, nella prima cintura di Milano¹³, quale potenziale risorsa energetica ingente data la grande massa d'acqua e quindi capacità termica, con un volume di oltre 4 milioni di mc (Fig. 3).

Per poter attingere alla risorsa in modo sostenibile sono state indagate (Fig. 4) le possibili modalità di sfruttamento: la prima con l'uso diretto dell'acqua, attingendola come fluido termico e rimettendola poi nel lago a fine ciclo; la seconda in modo mediato, realizzando dei pozzi verticali che attingono l'acqua dal sottosuolo e la rimettono nell'Idroscalo (queste soluzioni non

03 |



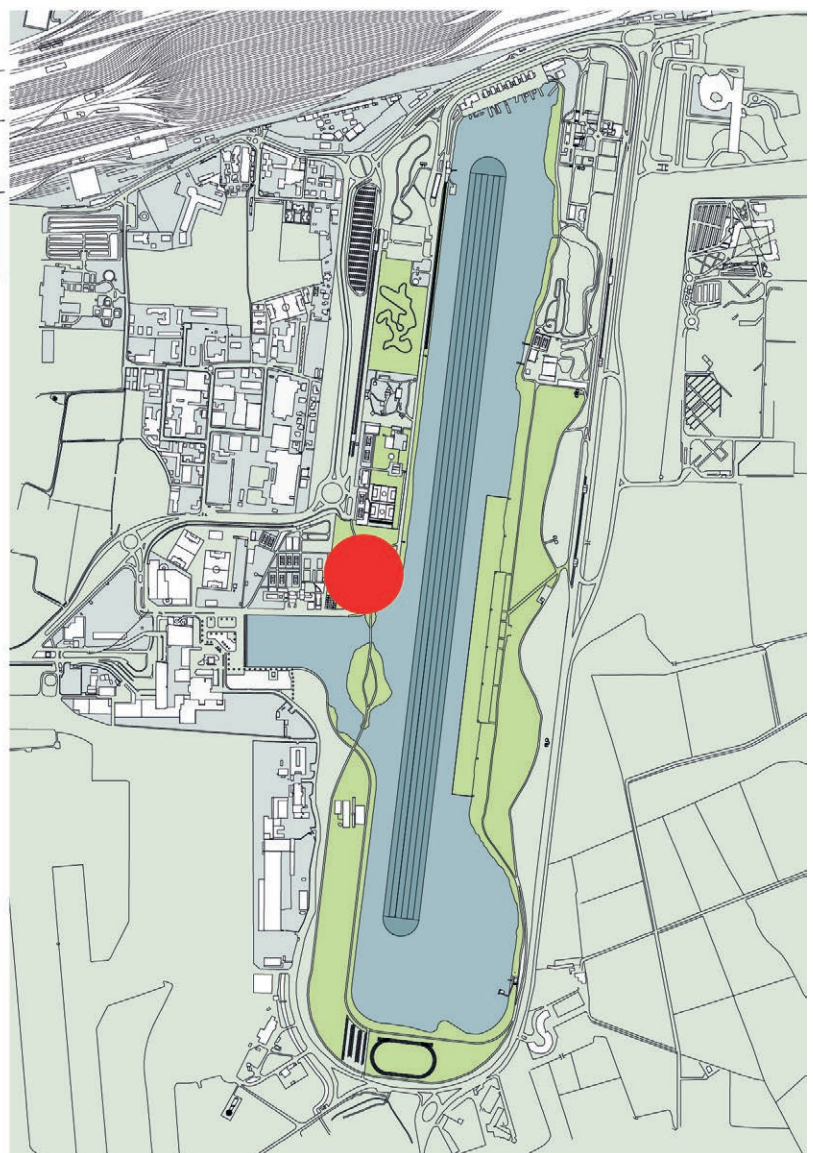
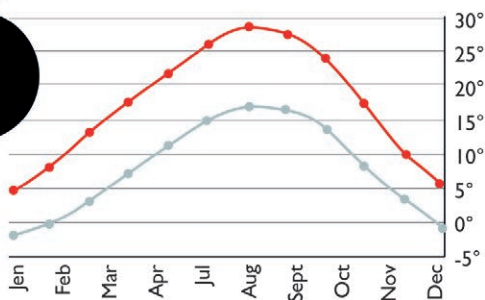
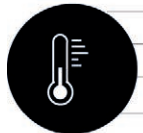
2.600m length
250/400m width



3/5m depth



1,6km² surface
3/5 * 10⁶m³ volume



intaccerebbero le condizioni della falda esistente in quanto l'acqua del bacino è una falda superficiale affiorante). La terza tipologia di scambio termico possibile prevede l'installazione di circuiti chiusi di tipo verticale nella profondità del terreno (sonde geotermiche), sfruttando l'elevato gradiente termico ottenibile da questi scambiatori in un terreno saturo d'acqua. Tale tipologia comporta costi elevati di realizzazione per le potenze in gioco; pertanto, non si è approfondita l'analisi sotto il profilo energetico, in quanto le considerazioni di tipo economico precludevano di fatto tale possibilità. Per le due soluzioni a captazione diretta si sono manifestati dei problemi sotto il profilo burocratico ed amministrativo (essendo all'interno di un parco tutelato): la captazione e l'immissione diretta dell'acqua superficiale del lago presenta dei vincoli normativi legati al rispetto del D.L. 152/2006 e l'iter autorizzativo costituisce un'incognita sotto il profilo dell'esito e dei tempi di attuazione. Si è reso necessario studiare un'altra soluzione per lo sfruttamento della risorsa Idroscalo, in accordo sia con i vincoli legislativi in essere che con la fattibilità economica e temporale

degli interventi. Il caso descritto di seguito ha evidenziato come l'aspetto procedurale e normativo spesso sia l'ostacolo maggiore allo sviluppo e alla sperimentazione di tecnologie non standard: un sistema di sonde geotermiche orizzontali sul fondo di un bacino, purtroppo, non trovano una caratterizzazione normativa univoca. Inoltre, spesso i bacini idrici si trovano in aree parco protette in cui decisioni paesaggistiche, spesso soggettive, impediscono, senza una vera giustificazione ambientale, lo sfruttamento di un lago per scambi termici.

Il caso "ex Rivaverde" a Milano

Le riflessioni sul bacino dell'Idroscalo sono legate all'edificio pubblico ex-Rivaverde¹⁴ oggetto

del bando, che vincolava l'aggiudicazione dell'edificio a lavori di riqualificazione, che imponevano la realizzazione di un capotto termico esterno e la sostituzione dei serramenti. L'aggiudicatario del bando, con la consulenza del Politecnico di Milano, ha intrapreso un percorso che ha portato alla modifica sostanziale del capitolato d'appalto e alla realizzazione di interventi adeguati che hanno saputo migliorare significativamente il comfort termico e le prestazioni energetiche dell'edificio, rendendo economicamente e funzionalmente più sostenibile l'intervento.

Data la destinazione d'uso, l'edificio ha un alto carico interno non costante, conseguenza di un indice di affollamento elevato¹⁵. Per permettere condizioni di comfort bisogna considerare il calore sensibile legato alla differenza di temperatura e il calore latente legato all'umidità relativa, progettando un sistema di gestione e controllo di temperatura, umidità e qualità dell'aria. L'assenza di una direzione prevalente e di valori elevati di ve-

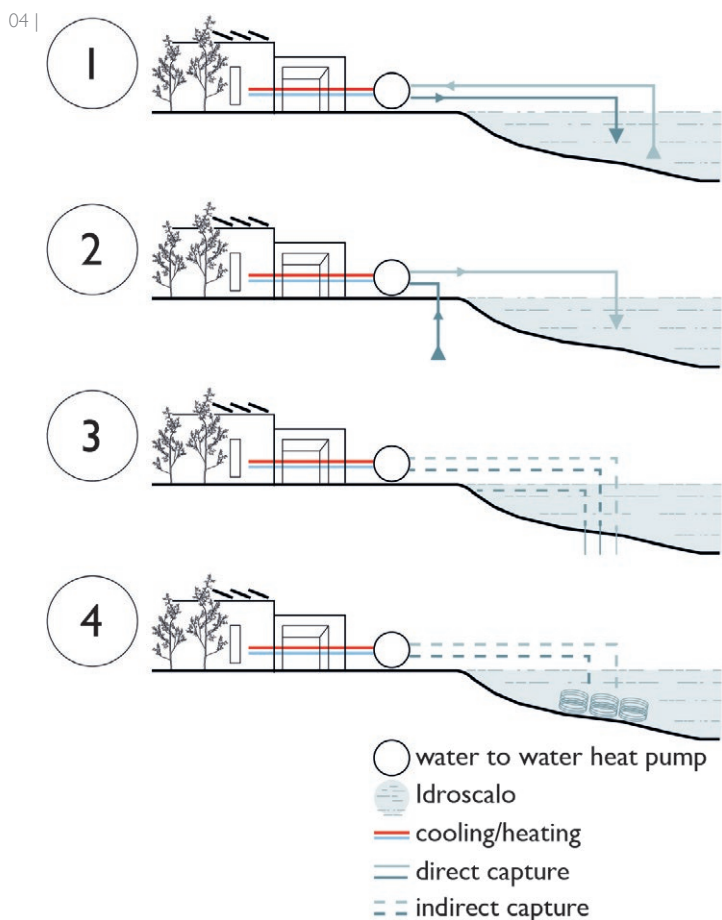
From this last reflection, the following paragraphs describe a change of scale of the investigation, moving from large water basins to an existing artificial lake created for other purposes. The case study is described as a best practice to limit the negative environmental impact of large basins.

with a volume of over 4 million cubic metres (Fig. 3).

In order to use the resource in a sustainable way, we investigated the possible methods of exploitation (Fig. 4). The first involved direct use of water, drawing it as a thermal fluid and then putting it back into the lake at the end of the cycle; the second provided a mediated way by building vertical wells that draw water from the subsoil and put it back into the seaplane base (these solutions would not affect the conditions of the existing groundwater as the water in the basin is outcropping surface groundwater). The third possible type of heat exchange involved the installation of closed vertical circuits in the depths of the ground (geothermal probes), exploiting the high thermal gradient of the exchangers in the ground saturated with water. This typology involves high construction

Energy and landscapes to be inhabited: a case study in the city of Milan

The potential strategies for exploiting an artificial water basin as energy storage are illustrated below, investigated¹² to award a tender announced by the metropolitan city of Milan. The object of the public call was redevelopment and management of a public recreational building inserted in the park of the Idroscalo basin, in the first belt of Milan¹³, as a huge potential energy resource, because of the large mass of water and, therefore, thermal capacity,



locità del vento durante tutto l'anno non permette di sfruttare la ventilazione naturale per la climatizzazione. Non vi è inoltre nelle vicinanze un punto di consegna del gas metano. Il progetto energetico si è quindi sviluppato a partire dalla risorsa idrica dell'Idroscalo come massa con cui scambiare energia ottimizzando le fonti rinnovabili (fotovoltaico in copertura).

L'uso di scambiatori e di una pompa di calore acqua/acqua è la soluzione adottata per la realizzazione di un sistema integrato di riscaldamento, climatizzazione e ventilazione in grado di garantire un ambiente ottimale per le attività dell'edificio, compatibilmente con la necessità di realizzare le opere in tempi rapidi e a costi sostenibili. Questa scelta tutela un uso razionale delle risorse perché viene dismessa la caldaia a GPL; non produce gas o fumi di scarico; tutela il paesaggio perché nulla dell'impianto è visibile e non produce inquinamento acustico o visivo.

È anche una scelta di tutela socio-culturale in quanto potrà essere un veicolo per promuovere future scelte consapevoli da parte della pubblica amministrazione e della cittadinanza al fine di mitigare gli impatti ambientali degli edifici posti in luoghi sensibili (Fig. 5).

Riflessioni: tecniche e processi per differenziare le forme energetiche

Poiché lo scopo della ricerca era rendere sostenibile il progetto da tutti punti di vista, la soluzione "imposta" dal capitolato di

appalto (cappotto) è stata messa in discussione perché la meno funzionale al tipo di edificio e al contesto. Le possibili soluzioni, infatti, sono state analizzate dal punto di vista della sostenibilità tecnica, economica e funzionale, definendo i costi iniziali, le prestazioni raggiunte e i tempi di ritorno dei vari investimenti per

costs for the involved power; therefore, the analysis from an energy point of view was not studied in depth because economic considerations effectively precluded this possibility. For the two direct collection solutions, some problems have arisen from a bureaucratic and administrative point of view (since they are inside a protected park): the collection and direct introduction of the lake's surface water present regulatory constraints linked to compliance with Decree Law 152/2006, and the authorisation process is an unknown factor in terms of outcome and implementation times.

It was necessary to study another solution for the exploitation of the Idroscalo resource, in accordance with both the existing legislative constraints and the economic and temporal feasibility of the interventions. The case described below has highlighted how

the procedural and regulatory aspect is often the major obstacle to the development and testing of non-standard technologies. Indeed, a system of horizontal geothermal probes on the bottom of a basin, unfortunately, does not find univocal regulatory characterisation. Furthermore, the water basins are often located in protected park areas where often subjective landscape decisions prevent the exploitation of a lake as a heat resource without a real environmental justification.

The "ex Rivaverde" case in Milan

The reflections on the Idroscalo basin refer to the public building ex-Rivaverde¹⁴, the subject of the public tender linking the award of the building to the redevelopment works, which required the construction of an external thermal coat and replacement of the windows.

tutti i possibili interventi, presi sia singolarmente che integrati.

Le alternative di interventi possibili sono riassunte nella tabella 1 (prima riga) con quantità (riga a), prestazione dell'elemento tecnico oggetto dell'intervento nello stato di fatto (riga b) e di progetto (riga c), costo dell'intervento su quell'elemento unitario (riga d) e totale (riga e).

La riga (f) indica lo stato di fatto prima dell'intervento. L'EPh di progetto (colonna l) viene confrontato con l'EPh limite di legge¹⁶ (colonna m) e la classe energetica (colonna n). La colonna (o) espone il costo totale dell'intervento sull'elemento tecnico indicato nelle colonne (a-i) segnati con (✓) e il tempo di ritorno dell'investimento economico (colonna p). Le colonne (q; r) rappresentano la fonte energetica e il costo della risorsa energetica impiegata per riscaldare l'edificio.

L'intervento richiesto dal bando (6) a fronte di un costo di oltre 56.000 € ha un ROI di quasi 90 anni (tempo in cui il cappotto andrebbe certamente sostituito almeno una volta) ed è pertanto un intervento senza alcun vantaggio economico.

Avrebbe forse più senso ipotizzare i soli interventi sui serramenti (7) che, a fronte di una spesa dimezzata rispetto al cappotto, avrebbe un ROI di 40 anni, comunque metà rispetto al cappotto.

Da segnalare che la sola sostituzione del generatore di calore (9), da caldaia a GPL a pompa di calore acqua/acqua avrebbe un ritorno di 6 anni.

Tutti gli interventi proposti fino al numero 12, però, non rispettano la normativa vigente all'epoca del bando in quanto l'EPh raggiunto (colonna l) è superiore al minimo di legge (colonna m). L'intervento realizzato è il (15), che consente, grazie all'isolamento termico della copertura, di ottenere migliore confort anche

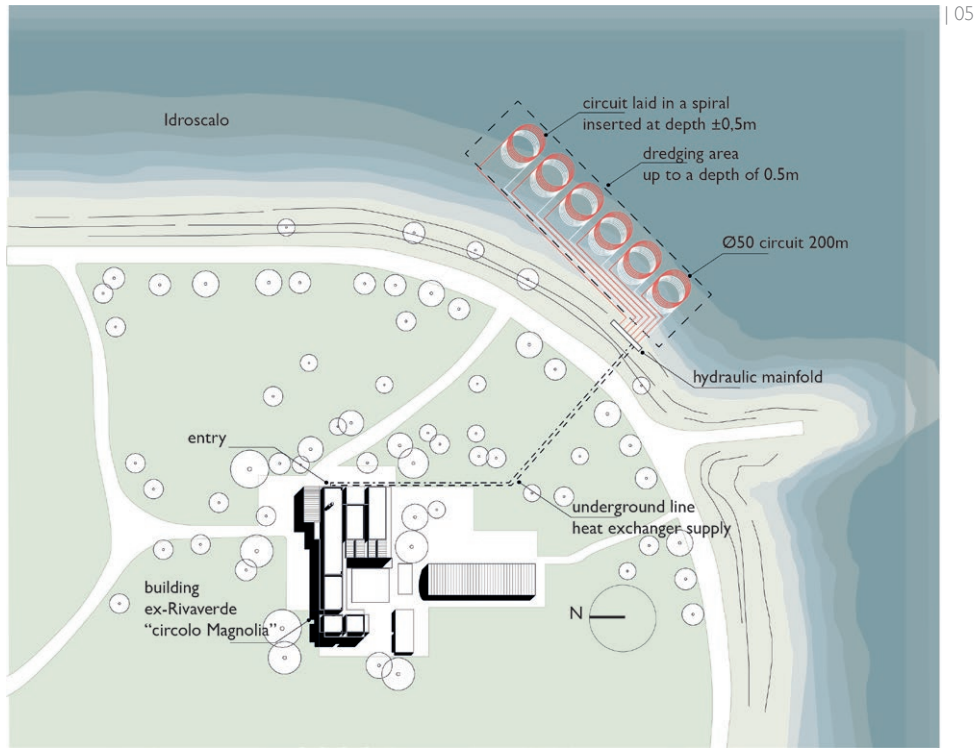
The tender winner, with the advice of the Politecnico di Milano, embarked on a path that led to the substantial modification of tender specifications, and the implementation of suitable interventions that significantly improved the thermal comfort and energy performance of the building, making the intervention economically and functionally more sustainable.

Given the intended use, the building has a high non-constant internal load, a consequence of a high crowding index¹⁵. To reach comfort conditions, it is necessary to consider the sensible heat linked to the temperature difference and the latent heat linked to the relative humidity, thus designing a management and control system for temperature, humidity and air quality. The absence of a prevailing direction and high wind speed values throughout the year does not allow the ex-

ploitation of natural ventilation for air conditioning. Furthermore, there is no methane gas delivery point nearby. The energy project has, therefore, developed starting from the water resource of the Idroscalo as a mass with which to exchange energy by optimising renewable sources (photovoltaic on the roof).

The use of exchangers and a water/water heat pump is the solution adopted for the creation of an integrated heating, air conditioning and ventilation system capable of guaranteeing an optimal environment for building activities, compatible with short working times and affordable costs. This choice safeguards a rational use of resources because the LPG heater is decommissioned; it does not produce gas or exhaust fumes; it protects the landscape because nothing of the plant is visible, and it does not produce acoustic or visual pollution.

05 | Sistema di sonde a circuito chiuso nell'Idroscalo e sequenza degli interventi: realizzazione scambiatori a spirali in tubi continui di polietilene, posizionamento e affondamento degli scambiatori, punto di inserimento delle tubazioni in acqua
 System of closed-circuit in the Idroscalo and sequence of interventions: realization of spiral exchangers in continuous polyethylene tubes, positioning and sinking of the exchangers, point of insertion of the pipes in the water



Tab. 01 | Tabella di correlazione interventi-costi-benefici
Correlation table interventions-costs-benefits

Tab. 01 |

INTERVENTION	a	b	c	d	e	f	g	h	i	l	m	n	o	p	q	r
	Heat pump water/water	Extrados floor insulation	Extrados floor insulation	Window replacement offices (mq)	Window infill public area	Perimeter wall cladding offices	Perimeter wall cladding	Attic insulation against	Attic insulation against	EPh (KWh/m ² a)	EPh _{lim} (KWh/m ² a)	Energy class	total cost intervention	payback time (years)	Resource typology (G=aas ali)	Annual cost of energy resource €
a Quantity (mq)	1 da 115Kw	189	257	61	45	259	259	189	260							
b Performance in the state of affairs (W/mqK)		1,362	1,362	4,131	4,127	0,499	0,499	0,362	0,362							
c Performance in the project (W/mqK)	[COP] 4,5	0,309	0,309	2,000	0,225	0,313	0,313	0,258	0,258							
d Unitary cost of the intervention €/mq	70.000	25	25	500	50	110	110	30	30							
e Total cost €	70.000	4.732	6.425	30.415	2.272	28.450	28.450	5.682	7.795							
f State of affairs	×	×	×	×	×	×	×	×	×	84,64	24,95	G	0		G	15.640
g - COMBINATIONS OF THE ALTERNATIVES	1	×	×	×	×	×	×	×	✓	84,14	24,95	G	7.795	84,4	G	15.548
	2	×	×	×	×	×	×	×	✓	84,06	24,95	G	5.682	53,0	G	15.533
	3	×	×	×	×	×	×	×	✓	83,57	24,95	G	13.477	68,2	G	15.442
	4	×	×	×	✓	×	×	×	×	82,87	24,95	G	30.415	93,0	G	15.313
	5	×	×	×	×	✓	×	×	×	81,97	24,95	G	2.272	4,6	G	15.147
	6	×	×	×	×	×	✓	×	×	81,19	24,95	G	56.901	89,3	G	15.003
	7	×	×	×	✓	×	×	×	×	80,28	24,95	G	32.687	40,6	G	14.834
	8	×	✓	×	×	×	×	×	×	67,50	24,95	G	11.157	3,5	G	12.473
	9	✓	×	×	×	×	×	×	×	33,33	24,95	D	70.000	6,0	E	3.910
	10	✓	×	×	✓	×	×	×	×	31,31	24,95	D	102.687	8,6	E	3.673
	11	✓	✓	×	×	×	×	×	×	25,47	24,95	C	81.157	6,4	E	2.988
	12	✓	✓	×	×	×	×	✓	×	25,16	24,95	C	86.839	6,8	E	2.951
	13	✓	✓	×	×	×	×	✓	×	24,89	24,95	C	94.634	7,4	E	2.920
	14	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	24,22	24,95	C	83.428	6,5	E	2.841
	15	✓	✓	×	✓	×	×	✓	✓	23,63	24,95	C	96.905	7,5	E	2.772
	16	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	23,42	24,95	C	113.843	8,8	E	2.747
	17	✓	✓	✓	✓	×	×	✓	✓	22,83	24,95	C	127.320	9,8	E	2.678

estivo e, soprattutto, risolve definitivamente i problemi di infiltrazioni di acqua piovana. La (Fig. 6) riporta le principali caratteristiche della soluzione scelta in termini energetici/ambientali. Questo intervento è stato però possibile solo ri-convertendo i modi d'uso dell'edificio: destinato sia al pubblico che a uffici, affinché le potenze di picco non fossero troppo elevate, è stato necessario rimodulare le ore di presenza degli addetti per non

farle coincidere con i momenti di maggior afflusso del pubblico. Questa sinergia ha consentito di ridurre le potenze elettriche di picco (peraltro già non trascurabili durante gli eventi musicali a causa di luci e amplificatori) e quindi di poter a pieno sfruttare anche l'impianto fotovoltaico in copertura, limitando i costi della componente elettrica di approvvigionamento. Il sistema installato ha consentito di evitare circa 24.000 Kg di CO2

It is also a choice of socio-cultural protection as it can be a vehicle for promoting future informed choices by the public administration and citizens in order to mitigate the environmental impact of buildings located in sensitive places (Fig. 5).

Reflections: techniques and processes to differentiate energy forms

Since the purpose of the research was to make the project sustainable from all points of view, the solution "imposed" by the tender specifications (coat) was questioned because it was the least functional to the type of building and context. The possible solutions were analysed from the point of view of technical, economic and functional sustainability, defining the initial costs, the performance achieved and the payback times of the various investments for all the possible inter-

ventions, taken both individually and integrated.

The possible alternative interventions are summarised in table 1 (first line) with quantity (line a), the performance of the technical element object of the intervention in the state of affairs (line b) and project (line c), cost of the intervention on that unitary (line d) and total (line e) element.

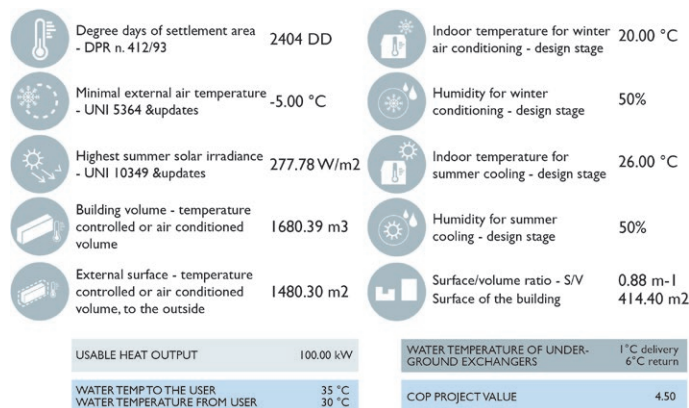
Line (f) indicates the state of affairs before the intervention. The project EPh (column l) is compared with the legal limit EPh16 (column m) and the energy class (column n). Column (o) shows the total cost of the intervention on the technical element indicated in columns (a-i), marked with (✓) and the payback time of the economic investment (column p). The columns (q; r) represent the energy source and the cost of the energy resource used to heat the building.

The intervention required by the tender (6) for a cost of over € 56,000 has a ROI of almost 90 years (time in which the coat should certainly be replaced at least once) and is, therefore, an intervention without any economic advantage.

It would perhaps make more sense to hypothesise only the interventions on the windows (7) which, in the face of a cost halved compared to the insulation, would have a ROI of 40 years, in any case half compared to the insulation. It should be noted that just replacing the heat generator (9) from LPG heater to water/water heat pump would have a return of 6 years.

However, all the interventions proposed up to number 12 do not comply with the legislation in force at the time of the announcement as the EPh reached (column l) is higher than the legal minimum (column m).

The intervention carried out is (15), which allows to obtain better comfort even in summer thanks to the thermal insulation of the roof and, above all, definitively solves the problems of rainwater infiltration. Fig. 6 shows the main characteristics of the chosen solution in energy/environmental terms. However, this intervention was only possible by re-converting the building's modes of use: intended for both the public and offices, so that the peak powers were not too high, the hours of employee presence had to be re-modulated so as not to make them coincide with the moments of greatest public presence. This synergy could reduce the peak of electrical powers (already not negligible during musical events due to lights and amplifiers) and, therefore, fully exploit the photovoltaic system on the roof as well, limiting the costs of the electrical supply factor. The



l'anno, non più prodotti in loco dalla vecchia centrale termica a GPL. Più difficile avere il totale di CO₂ prodotti dalla rete elettrica pubblica che alimenta il sistema: circa un quarto del fabbisogno, comunque, è coperto da un impianto fotovoltaico con 20 kWp.

Se negli aspetti strettamente ingegneristici il caso studio non presenta particolari difficoltà tecniche (anche se i sistemi acqua/acqua adottati e il doppio accumulo caldo/freddo che consentono di scaldare e contemporaneamente deumidificare in un sistema totalmente integrato non sono soluzioni così comuni per “taglie” di edificio così piccolo – 500 mq), tuttavia esso si presenta come un caso complesso per l'originalità dell'approccio che non ha considerato solo le questioni meramente energetiche, ma anche la possibilità di intervenire in maniera sistemica sul comportamento degli utenti, formando il personale sull'uso migliore delle risorse a disposizione e sulla particolarità del contesto ambientale. Queste scelte non sono considerabili soluzioni standard, soprattutto perché si trattava di un appalto pubblico, con un capitolato vincolante e con un budget limitato. L'accumulo energetico, sia centralizzato che locale, rappresenta una possibilità di pieno sfruttamento delle risorse rinnovabili che, insieme a comportamenti virtuosi e consapevoli degli utenti, potrà gestire questa epoca di transizione.

Nel caso studio la climatizzazione a basso consumo realizzata è facilmente replicabile e adattabile ad altri edifici a costi relativamente contenuti di installazione e gestione.

L'amministrazione pubblica, opportunamente guidata, ha saputo intraprendere percorsi virtuosi, sfruttando la multifunzionalità dei sistemi di accumulo con un'ottimizzazione dell'utilizzo dell'edificio stesso, in fasce orarie diversificate e affidando

installed system has made it possible to avoid around 24,000 kg of CO₂ per year, which is no longer produced on-site by the old LPG heating plant. It is more difficult to have the total amount of CO₂ produced by the public electricity grid that feeds the system. However, about a quarter of the requirement is covered by a 20 kWp photovoltaic system.

If, in strictly engineering aspects, the case study does not present particular technical difficulties (even if the water/water systems adopted and the double hot/cold storage that allow heating and dehumidification at the same time in a totally integrated system are not so common solutions for “sizes” of such a small building – 500 m²), however, it presents itself as a complex case. This is due to the original approach, which has not only considered purely energy issues but also the possibility of intervening systemically on the behaviour

of users by training staff on the best use of resources available and on the particular nature of the environmental context. These choices cannot be considered standard solutions, above all because it was a public tender, with binding specifications and a limited budget.

Energy storage, both centralised and local, offers a possibility of fully exploiting renewable resources which, together with virtuous and informed user behaviours, will be able to manage this era of transition.

In the case study, the low consumption air conditioning created is easily replicable and adaptable to other buildings at relatively low installation and management costs.

The appropriately guided public administration has been able to undertake virtuous paths, exploiting the multifunctional nature of the accu-

agli utenti un ruolo attivo e responsabile. L'esperienza del caso studio ha dimostrato come la sostenibilità istituzionale (senza il supporto dell'ente pubblico non si sarebbe potuto realizzare) sia di fondamentale importanza per una adeguata transizione energetica: sarebbe auspicabile, come in questo caso, insieme al contributo della committenza anche il supporto degli enti pubblici, in una sperimentazione su più larga scala che valorizzi e testi tutte le istanze di multifunzionalità di questi sistemi.

NOTE

- ¹ SDG goal 7.
- ² Ricerca PRIN “Gestione del rapporto tra sistemi energetici e paesaggio” (Unità Locale Politecnico di Milano: R.S. E. Ginelli).
- ³ Ricerca conto terzi “Linee guida per la riqualificazione ambientale ed energetica dell'edificio ex RivaVerde” (R.S. E. Ginelli, con Associazione Arci Magnolia, Città Metropolitana di Milano, consulenza ing. M. Maistrello).
- ⁴ PNIEC (Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima) prevede che entro il 2050 si dovrà raggiungere la completa decarbonizzazione e le rinnovabili dovranno raggiungere il 55% dall'attuale 22% (2022). Tuttavia, il piano è fermo al 2019 e, se fosse aggiornato agli obiettivi del New Green Deal, la capacità da installare entro il 2030 sarebbe di almeno 60 GW.
- ⁵ Su un fabbisogno stimato di circa 300 TWh annui, circa 110 TWh sono da fonte rinnovabile (42% idroelettrico, 20% fotovoltaico, 17% bioenergia, 16%

mulation systems by making the best use of the building itself, in diversified time slots, and entrusting users with an active and responsible role. The experience of the case study has shown how institutional sustainability (it could not have been achieved without the support of the public administration) plays an essential role in an adequate energy transition. As in this case, along with the client's contribution, the support of public stakeholders could be hoped for in larger-scale experimentation that enhances and tests all instances of these systems' multifunctional performance.

NOTES

- ¹ SDG goal 7.
- ² Ricerca PRIN “Gestione del rapporto tra sistemi energetici e paesaggio” (Local Unit Politecnico di Milano: R.S. E. Ginelli).
- ³ Research for third parties “Linee guida per la riqualificazione ambientale ed energetica dell'edificio ex RivaVerde” (R.S. E. Ginelli, with Associazione Arci Magnolia, Città Metropolitana di Milano, consultancy ing. M. Maistrello).
- ⁴ PNIEC (Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima) predicts that by 2050 complete decarbonisation must be achieved and renewables will have to reach 55% from the current 22% (2022). However, the plan is stuck in 2019 and, if it were updated to the objectives of the New Green Deal, the capacity to be installed by 2030 would be at least 60 GW.
- ⁵ Out of an estimated need of about 300 TWh per year, about 110 TWh are from renewable sources (42% hydroelectric, 20% photovoltaic, 17% bioenergy, 16% wind, 5% geothermal), available at: <https://www.enelgreenpower.com/it/learning-hub/energie-rinnov>

colico, 5% geotermico). Available at: <https://www.enelgreenpower.com/it/learning-hub/energie-rinnovabili/italia> (Accessed on 02/02/2023).

⁶ Dati riferiti al 2021, available at: <https://www.terna.it/it/sistema-elettrico/statistiche/pubblicazioni-statistiche> (Accessed on 02/02/2023).

⁷ <https://www.scienzainrete.it/articolo/transizione-energetica-nodi-della-rete/riccardo-lo-bue/2022-10-10>, (Accessed on 28/01/2023).

⁸ Available at: <https://www.power-technology.com/marketdata/arlanda-airport-aquifer-thermal-energy-storage-system-sweden/>, (Accessed on 28/01/2023).

⁹ Available at: <https://www.swedavia.com/about-swedavia/the-aquifer/#gref>, (Accessed on 28/01/2023).

¹⁰ Available at: <https://solarthermalworld.org/news/denmark-37-mw-field-203000-m3-storage-underway/>, (Accessed on 28/01/2023).

¹¹ Available at: <https://re100.eng.anu.edu.au/global/>, (Accessed on 28/01/2023).

¹² Diverso dai casi ATES, dove il bacino è nella falda acquifera sottoterra, questo caso è interessante perché il bacino in questione è in un contesto antropizzato e non necessita di strutture o modifiche per essere utilizzato.

¹³ Realizzato attorno al 1930 come pista per gli idrovolanti, mai usato per tale scopo e oggi ospita un parco con servizi ricreativi e sportivi.

¹⁴ Edificio nato negli anni 80 per attività estive e ricreative (eventi musicali, laboratori, corsi musicali, letterari e teatrali, ospitando 200 persone in inverno e 800 in estate).

¹⁵ Sala di pubblico spettacolo.

¹⁶ Vigente all'epoca dell'intervento.

abili/italia, (Accessed on 02/02/2023).

⁶ Data referring to 2021, available at: <https://www.terna.it/it/sistema-elettrico/statistiche/pubblicazioni-statistiche> (Accessed on 02/02/2023).

⁷ Available at: <https://www.scienzainrete.it/articolo/transizione-energetica-nodi-della-rete/riccardo-lo-bue/2022-10-10>, (Accessed on 28/01/2023).

⁸ Available at: <https://www.power-technology.com/marketdata/arlanda-airport-aquifer-thermal-energy-storage-system-sweden/>, available at: (Accessed on 28/01/2023).

⁹ Available at: <https://www.swedavia.com/about-swedavia/the-aquifer/#gref> (Accessed on 28/01/2023).

¹⁰ Available at: <https://solarthermalworld.org/news/denmark-37-mw-field-203000-m3-storage-underway/>, (Accessed on 28/01/2023).

¹¹ Available at: <https://re100.eng.anu.edu.au/global/>, (Accessed on 28/01/2023).

REFERENCES

Andersson, O. (2012), *The ATES Project at Stockholm Arlanda Airport – Technical design and environmental assessment*, SWECO Environment AB, Malmö.

Bu, X., Jiang, K. and Guo, Z. (2022), “Storing high temperature solar thermal energy in shallow depth artificial reservoir for space heating”, *Scientific Reports*, 12, Vol. 1.

Campagna, N., Caruso, M., Castiglia, V., Miceli and Viola, F. (2020), “Energy management concepts for the evolution of smart grids”, in *8th International Conference on Smart Grid, icSmartGrid 2020*, pp. 208-213.

Daglio, L. and Ginelli, E. (2018), “The architecture of energy systems between technological innovation and environment”, *City Territ Archit*, Vol. 5, n.12.

Liberatore, R. and Mongibello, L. (2020), “Tecnologie e sistemi per l'accumulo termico”, *Energia e Green New Deal*, n. 2.

Ramos-Escudero, A. and Bloemendal, M. (2022), “Assessment of potential for aquifer thermal energy storage systems for Spain”, *Sustainable Cities and Society*, Vol. 81.

Schüppler, S., Fleuchaus, P. and Blum, P. (2019), “Techno-economic and environmental analysis of an Aquifer Thermal Energy Storage (ATES) in Germany”, *Geotherm Energy* 7, Vol. 11.

Stemmler, R., Hammer, V., Blum, P. and Menberg, K. (2022), “Potential of low-temperature aquifer thermal energy storage (LT-ATES) in Germany”, *Geothermal Energy*, Vol. 10, n.1.

¹² Unlike ATES cases, where the basin is in the underground aquifer, this case is interesting because the basin in question exists in an anthropised context and does not need structures or modifications to be used.

¹³ Built around 1930 as a seaplane track, never used for this purpose, today it houses a park with many recreational and sports facilities.

¹⁴ Building constructed in the 1980s for recreational summer activities (musical events, workshops, music, literature and drama courses, hosting 200 people in winter and 800 in summer).

¹⁵ Public entertainment hall.

¹⁶ Valid at the time of the intervention.