

Indipendenza energetica e decarbonizzazione: un nuovo approccio per le isole del Mediterraneo

RICERCA E
SPERIMENTAZIONE/
RESEARCH AND
EXPERIMENTATION

Davide Astiaso Garcia¹, <https://orcid.org/0000-0003-0752-2146>

Adriana Scarlet Sferra¹, <https://orcid.org/0000-00001-7151-8235>

Elisa Pennacchia², <https://orcid.org/0000-0001-8775-9711>

¹ Dipartimento di Pianificazione, Design e Tecnologia dell'Architettura Sapienza Università di Roma, Italia

² Dipartimento di Architettura e Progetto Sapienza Università di Roma, Italia

davide.astiasogarcia@uniroma1.it

adriana.sferra@uniroma1.it

elisa.pennacchia@uniroma1.it

Abstract. L'originalità del contributo ha messo a punto, per la decarbonizzazione delle isole del Mediterraneo, un toolkit. La metodologia ha sviluppato aspetti di metodo, competenze e risultati: coordinando ed elaborando ad hoc strumenti, analizzando tre scenari alternativi di penetrazione delle rinnovabili nel sistema energetico al 2030, in una logica di integrazione fra tecnologie, settori produttivi e fondi disponibili. Le risultanze della ricerca cofinanziata dal programma europeo Interreg Med (2014-2020), supportano l'Ente locale: implementando le strumentazioni si producono metodi e banche dati più efficaci per la programmazione e la gestione nel tempo degli interventi verso la transizione, anche culturale, con il supporto delle comunità energetiche.

Parole Chiave: Decarbonizzazione; Elettrificazione; Efficienza energetica; Energia rinnovabile; Comunità energetiche.

Il contesto

Per indirizzare e supportare il passaggio da una economia lineare, di consumo indiscriminato di risorse non rinnovabili e di produzione di rifiuti ed emissioni inquinanti, verso un modello caratterizzato dalla circolarità dei processi in tutti i settori produttivi, è determinante il ruolo del modello energetico come testimoniato, ad esempio, dall'evoluzione del quadro normativo europeo con il “pacchetto *fit for 55%*” (European Parliament, 2021).

In Italia i target fissati dal Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima – PNIEC (MASE, 2020) prevedono, oltre alla completa uscita dal carbone entro il 2025, anche la copertura da Fonti Energetiche Rinnovabili (FER) di più della metà dei consumi lordi di energia elettrica entro il 2030.

Attualmente, la penetrazione di fonti rinnovabili è del 36%, al di sotto degli obiettivi e molto lenta: occorre nei prossimi nove anni raddoppiarne la potenza installata altrimenti l'obiettivo

del 72% per contenere le emissioni di gas serra del 55% netto (rispetto al 1990) sarà raggiunto solo nel 2071 (GSE, 2019).

Per questi motivi, fra le soluzioni che coinvolgono gli ormai indilazionabili interventi – alle diverse scale – sull'ambiente costruito, un ruolo significativo che caratterizza la ricerca che qui si presenta, è affidato alla transizione dall'attuale modello energetico centralizzato alimentato da fonti fossili verso un modello distribuito, digitalizzato, dinamico e alimentato da FER in grado di promuovere comunità resilienti, inclusive, eco-solidali e dove maturano nuovi stili di vita.

Il processo di “elettrificazione rinnovabile” per integrare FER e mix di FER nel sistema elettrico, è una scelta obbligata per raggiungere i target di decarbonizzazione al 2030 fissati dall'UE. Invece, lo scenario 100% di penetrazione delle rinnovabili per poter raggiungere la neutralità carbonica al 2050 è una grande sfida tecnico-economica, sociale e culturale, la cui attuazione richiede una serie di azioni condivise tra tutti gli stakeholder per gestire gli impatti sulla rete attuale e garantire la sicurezza, adeguatezza, qualità, efficienza e resilienza nel passaggio dal sistema monodirezionale a un sistema con flussi di energia elettrica a più direzioni, ad alta volatilità e bassa prevedibilità. Affinché la domanda sia soddisfatta, ogni ora di ogni giorno, (Heydari *et al.*, 2020) sono necessari investimenti per il potenziamento della rete elettrica e delle interconnessioni import/export con l'estero e, al contempo, nuove regole sul funzionamento del mercato per assicurare agli investitori prezzi dell'elettricità competitivi (Cieplinski *et al.*, 2021).

Energy independence and decarbonisation: a new approach for Mediterranean islands

Abstract. The original feature of this paper is the development of a toolkit for the decarbonisation of Mediterranean islands. The defined methodology was aimed to develop framework, skills and capabilities, coordinating and tailoring predictive assessment tools, analysing three alternative scenarios for the penetration of renewable sources into the energy system by 2030, consistently with a rationale of integration between technologies, production sectors and available funds. The findings of the research cofinanced by the European Programme Interreg Med (2014-2020) support Local Authorities by developing more effective methods and databases to plan and manage interventions in favour of the energy and cultural transition also through energy communities.

Keywords: Decarbonisation; Electrification; Energy efficiency; Renewable energy; Energy communities.

The context

The role of the energy model is decisive to steer and support the transition from a linear economy with indiscriminate consumption of non-renewable resources and production of waste and polluting emissions, towards a model characterised by circular processes in all production sectors. This is also evidenced, for example, by the evolution of the European regulatory framework with the “fit for 55% package” (European Parliament, 2021).

In Italy, the targets set by the Integrated National Energy and Climate Plan (MASE, 2020) expect, in addition to the complete carbon phase out by 2025, RES coverage of more than half of gross electricity consumption by 2030.

Currently, the penetration of renewables in Italy is 36%, which is far below the target, and is growing slowly. It is

necessary to double the installed capacity of renewables in the next nine years, otherwise the 72% target to limit greenhouse gas emissions by a net 55% (compared to 1990) will only be reached in 2071 (GSE, 2019).

For these reasons, among the solutions that involve the now urgent interventions – at different scales – on the built environment, a significant role highlighted in this research is the transition from the current centralised and fossil-fuelled energy model to a distributed, digitised, dynamic model fuelled by Renewable Energy Sources (RES) capable of promoting resilient, inclusive, eco-friendly communities. A setting that favours new lifestyles.

The process of “renewable electrification” to integrate RES and RES-mixes into today's fossil-fuelled electricity system is a must to achieve the EU's 2030 decarbonisation targets.

Occorrono ingenti investimenti in Ricerca e Sviluppo (R&S), ad esempio nelle tecnologie di accumulo (giornaliero e stagionale) essenziali nella gestione dell'intermittenza delle FER (IEA, 2022).

Come anticipato, è certamente necessaria una rivoluzione elettrica ma, dal momento che la risposta a un problema articolato e complesso non è riconducibile soltanto ad aspetti tecnico-economici e non può essere affrontata settorialmente, occorre soprattutto una rivoluzione culturale promotrice di nuovi stili di vita in grado di sollecitare la responsabilità civile su questi temi e di sviluppare una diffusa consapevolezza e condivisione sui temi ambientali.

In questo senso sono orientate iniziative quali le Comunità Energetiche Rinnovabili (CER) (ARERA, 2020). Oltre ai vantaggi economici, di sicurezza nell'approvvigionamento e riduzione degli impatti ambientali, hanno una valenza/missione sociale e di aggregazione.

In questo contesto è fondamentale anche il ruolo della riduzione dei consumi in ogni settore produttivo sia per gestire la disponibilità delle rinnovabili sia per modificare gli stili di vita.

Nello specifico del settore edilizio, la riduzione dei consumi "costruendo sul costruito" per non consumare altro suolo, si svolge nel rispetto della nuova direttiva sulla prestazione energetica degli edifici (European Commission, 2021).

Il percorso verso la decarbonizzazione quindi, richiede innanzitutto di individuare le esigenze energetiche di un territorio per, in seguito, proporre soluzioni che tengano compresenti e valutino al contempo aspetti ambientali, economici, culturali e sociali per la loro riduzione e copertura esclusivamente con fonti rinnovabili (De Pascali *et al.*, 2020).

Instead, the 100% renewables penetration scenario to achieve carbon neutrality by 2050 is a major technical-economic, social and cultural challenge that requires a series of shared actions among all stakeholders. In particular, it is important to manage the impacts on the current grid and to ensure safety, adequacy, quality, efficiency and resilience in the transition from a one-way system to a system with multi-directional, highly volatile and low predictability power flows. Investments are needed to upgrade the electricity grid and import/export interconnections with foreign countries to ensure that demand is met every hour of every day (Heydari *et al.*, 2020); at the same time new rules on market operation are needed to ensure competitive electricity prices for investors (Cieplinski *et al.*, 2021). Huge investments in Research and

Development (R&D) are needed, for example, in storage technologies (daily and seasonal), which are essential in managing the "intermittency" of RES (IEA, 2022).

As mentioned earlier, an electrical revolution is certainly necessary, but the answer to a complex and articulated problem can neither be traced solely to technical-economic aspects nor tackled sector by sector. Above all, it needs a cultural revolution that promotes new or different lifestyles capable of stimulating civic responsibility on these issues and of developing widespread awareness and sharing on environmental issues.

Initiatives such as the Renewable Energy Communities (RECs) are oriented in this direction (ARERA, 2020). In addition to the economic benefits, reliable supplies and low environmental impacts, both have a social and aggregate

In questo contesto, il mar Mediterraneo e le sue isole, possono configurarsi come un laboratorio con l'obiettivo di sperimentare modalità per attuare e accelerare la transizione energetica, assumendo, come tante volte in passato un ruolo centrale.

Numerosi studi condotti identificano nelle isole contesti privilegiati, adatti a raccogliere la sfida, attuare gli interventi e trasferire i risultati: elevata disponibilità di rinnovabili (Kuang *et al.*, 2016), ridotta accessibilità ed infrastrutturazione, alto costo di produzione dell'energia, economia basata sul turismo stagionale che "stressa" il sistema energetico (MISE, 2017). Spesso, sono piccole comunità dove è possibile testare più agevolmente la condivisione e l'impatto (sociale/economico/ambientale) dell'elettrificazione sui soggetti coinvolti (governance, cittadini, imprese).

Da segnalare infine che da diversi decenni la cooperazione internazionale, promuovendo i principi della conservazione delle diverse identità culturali e dello sviluppo sostenibile, ha favorito la creazione di istituzioni, convenzioni e programmi a livello regionale quali il partenariato Euromediterraneo e l'Unione per il Mediterraneo.

In tale quadro, la ricerca PRISMI – Promoting RES Integration for Smart Mediterranean Islands cofinanziata dal Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FESR), si colloca coerentemente all'interno del Interred Med Programme 2014-2020 (Hoseinzadeh *et al.*, 2022; Astiaso Garcia *et al.*, 2022).

Approccio, metodologia e sviluppo della ricerca

Obiettivo della ricerca è agevolare l'Ente Locale nel percorso verso la transizione energetica.

La metodologia, sotto forma di un toolkit, identifica le RES utilizzabili, valuta l'impatto economico e ambientale di quelle

gation value/mission.

In this context, the role of optimisation in each production sector is also crucial, both to manage the availability of renewables and to change lifestyles. Specifically in the AECO sector, the reduction of consumption and "building on what has been built" to consume no more soil is carried out in compliance with the new directive on the energy performance of buildings (European Commission, 2021).

Hence, the path to decarbonisation first requires identifying the energy needs of an area, and then proposing solutions that simultaneously take into account and evaluate environmental, economic, cultural and social aspects for their reduction and coverage exclusively with renewable sources (De Pascali *et al.*, 2020).

In this context, the Mediterranean Sea and its islands can become a laboratory

to test ways to implement and accelerate the energy transition. Indeed, as many times in the past, the Mediterranean can take on a central role.

Several studies identify the islands as privileged settings suitable to take up the challenge, implement the interventions and transfer the results, considering the high availability of renewables (Kuang *et al.*, 2016), low accessibility and few infrastructures, high cost of energy production, economy based on seasonal tourism that "stresses" the energy system (MISE, 2017).

Often, these are small communities where it is easier to test the sharing and electrification impact (social, economic, environmental) on stakeholders (governance, citizens, businesses). Finally, it should be noted that for several decades international cooperation promoting the principles of preservation of different cultural identities and

selezionate, indirizza la progettazione per il dimensionamento ottimale di RES e stoccaggio in funzione dei consumi energetici e dell'impatto sulla rete elettrica dell'isola (PRISMI, 2018).

Il toolkit, attraverso l'utilizzo e le sinergie fra strumenti di simulazione, supporta progettisti e pianificatori, consente di sviluppare scenari energetici ed analisi di fattibilità tecnico-economica finalizzate alla maggiore penetrazione delle FER sulle reti insulari.

La metodologia è articolata nelle fasi che qui di seguito sinteticamente si illustrano (Fig. 1).

Step 1: stima dei consumi energetici

Per quanto riguarda l'ambiente costruito la procedura, finalizzata alla mappatura del fabbisogno energetico, tiene conto delle caratteristiche e destinazione d'uso del territorio, della tipologia dei consumi, delle modalità e procedure per il loro calcolo, dei dati disponibili e dati da rilevare, della valutazione degli sprechi, delle "soglie" di accettabilità per possibili interventi di riduzione degli eccessi e rimozione delle cause.

Step 2: stima della producibilità da FER

Per quanto riguarda l'ambiente naturale, la mappatura delle FER fornisce i dati sul potenziale di risorse rinnovabili per la produzione di energia. La procedura considera: le caratteristiche del territorio, la disponibilità e caratteristiche delle rinnovabili, il dimensionamento della quantità globale di energia utilizzabile, modalità e vincoli per la loro captazione ed utilizzazione, individuazione di "soglie" di accettabilità ed utilizzabilità, individuazione di possibili fattori di inquinamento.

Per quanto riguarda la qualità dei dati di input per ognuno de-

sustainable development has encouraged the creation of institutions, conventions and programmes at Regional level, such as the Euro-Mediterranean Partnership and the Union for the Mediterranean.

In this framework, the PRISMI - Promoting RES Integration for Smart Mediterranean Islands research co-funded by the European Regional Development Fund, is coherently placed within the Interred Med Programme 2014-2020 (Hoseinzadeh *et al.*, 2022; Astiaso Garcia *et al.*, 2022).

Research approach, methodology and development

The aim of the research is to facilitate the Local Authority in the process of energy transition. The methodology, presented in the form of a toolkit, identifies the usable Renewable Energy Sources (RES), evaluates the economic

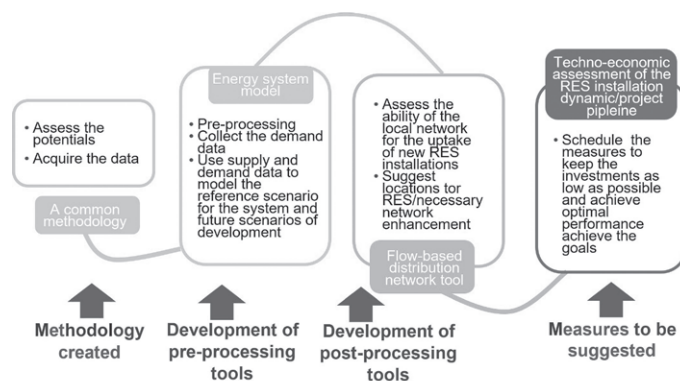
and environmental impact of the selected RES, and guides the design for optimal sizing of RES and storage based on energy consumption and their impact on the island's power grid (PRISMI, 2018).

The toolkit, through the use and synergy of simulation tools, supports designers and planners, and enables the development of energy scenarios and technical-economic feasibility analyses aimed at increasing the penetration of Renewable Energy Sources (FER) in island grids.

The methodology consists of the steps briefly described below (Fig. 1).

Step 1: estimate energy consumption.

As regards the built environment, the procedure aimed at mapping energy requirements takes account of the characteristics and land use, the consumption profile, the methods



gli step precedenti, occorre evidenziare che sono dati primari, in quanto ottenuti da rilevamenti diretti, orari, elaborati incrociando risultati di a) rilievi sul posto; b) foto satellitari; c) dati forniti dall'amministrazione locale. Entrambe le mappature (step 1 e 2) tengono conto di aspetti finanziari: economici, gestionali, valutazione costo/beneficio, "soglie" di convenienza, partenariato pubblico/privato, ruolo ed iniziative della PA in corso ed infine, vengono registrate in un database del Sistema Informativo Geografico (GIS) (Ferrari *et al.*, 2021).

Step 3: analisi tecnologica

Per quanto attiene le tecnologie più appropriate da utilizzare e la loro effettiva applicazione territoriale, la procedura, in coerenza con gli indirizzi di pianificazione energetica delle singole isole, analizza sistemi e dispositivi innovativi per la raccolta e la trasformazione dell'energia, uso innovativo di sistemi tradizionali, mix di sistemi innovativi e tradizionali, nuove tendenze per il trasferimento tecnologico, innovazioni tecnologiche in corso, tempo per il loro utilizzo, eventuali limiti e ulteriori potenzialità.

Si procede con la valutazione della fattibilità dell'implementazione dei sistemi e l'analisi dei vincoli ambientali, paesaggistici e storici dell'area analizzata e degli impatti associati alla costruzione, al funzionamento e alla dismissione degli impianti.

and procedures for calculating them, the data available and the data to be collected, the evaluation of waste and identification of causes, and the "thresholds" of acceptability for possible interventions to reduce excess and remove causes.

Step 2: estimate production from RES

As regards the natural environment, RES mapping provides data on the potential of renewable resources for energy production. The procedure considers: the geomorphology, the availability and characteristics of renewables, the dimensioning of the global amount of usable energy, methods and constraints for their capture and utilisation, identification of "thresholds" of acceptability/usability and of possible pollution factors. Concerning the quality of the input data for each of the above steps, it should be noted

that they are primary data, as they are obtained from direct, hourly, cross-referenced results of a) on-site surveys; b) satellite photos; c) data provided by the local administration. Both mappings (steps 1 and 2) consider financial aspects: economic, management, cost/benefit assessment, convenience "thresholds", public/private partnership, role and current PA initiatives and, finally, they are recorded in a Geographic Information System (GIS) database (Ferrari *et al.*, 2021).

Step 3: Technology Analysis

With regard to the most appropriate technologies and their effective territorial application, the procedure, in accordance with the energy planning guidelines of the individual islands, analyses innovative systems and devices for: energy collection and transformation, innovative use of traditional

Inoltre, sono considerati anche gli interessi degli stakeholder e le caratteristiche morfologiche ed edilizie proprie del contesto locale.

Step 4: elaborazione degli scenari di penetrazione delle FER

Conclusi gli step precedenti, si procede con le simulazioni relative allo sviluppo del sistema energetico secondo tre scenari (orizzonte temporale 2030).

Lo scenario LowRES, rappresenta la situazione *business as usual*; indica che nessuna risorsa di energia rinnovabile è considerata per la produzione di energia (tranne quella già presente nel mix energetico nazionale) e tutta la domanda è coperta dalla rete nazionale quindi, la quota di FER inserita nel sistema è pari zero e nessun intervento è programmato da oggi al 2030.

Lo scenario RES, variabile da > 0 a <100 individua la massima integrazione possibile di FER in funzione dei vincoli ambientali e tecnici imposti dal caso di studio.

Lo scenario HighRES analizza la fattibilità tecnico-economica del sistema energetico dell'isola di diventare autosufficiente: 100% alimentato da FER sfruttando al massimo il loro potenziale e le modifiche alla rete locale.

In termini di risultati la ricerca ha testimoniato la validità (e la flessibilità operativa) del toolkit; gli esiti della modellazione forniscono configurazioni ottimali del sistema elettrico dal punto di vista tecnico-economico e delle riduzioni delle emissioni climalteranti. Per ognuno degli scenari la modellazione valuta la capacità della rete locale di "accogliere" nuove FER, suggerisce l'ubicazione degli impianti, indica il livello necessario di potenziamento richiesto dalla rete ed infine supporta la programma-

systems, mix of innovative and traditional systems, new trends for technology transfer, current technological innovations, time for their use, possible limits and further potential. The feasibility assessment of the system implementation and the analysis of the environmental, landscape and historical constraints of the analysed area, and of the impacts associated with construction, operation and decommissioning of the facilities are carried out. In addition, stakeholder interests and the morphological and construction characteristics of the local context are also considered.

Step 4: development of RES penetration scenarios

After completing the previous steps, simulations are carried out for the development of the energy system according to three scenarios (time horizon 2030).

The LowRES scenario represents the business-as-usual situation. It indicates that no renewable energy resources are considered for energy production (except those already present in the national energy mix), and that all demand is covered by the national grid; therefore, the share of RES penetration into the system is zero and no intervention is planned between now and 2030.

The RES scenario, ranging from > 0 to <100, identifies the maximum possible integration of Renewable Energy Sources (FER) based on the environmental and technical constraints imposed by the case study.

The HighRES scenario analyses the technical-economic feasibility of the island's energy system becoming self-sufficient, 100% powered by FER, maximising their potential and modifications to the local grid.

zione degli interventi e le future attività di *facility management*. In termini di strumenti, sinteticamente descritti in seguito, ognuno degli step è supportato – questo è uno dei caratteri innovativi della ricerca – dall'utilizzo di software open source e software elaborati ad hoc dalla ricerca con i relativi manuali d'uso (PRISMI, 2018).

La mappatura delle FER è stata condotta con il *web tool* Renewables.ninja.

Il PRISMI_Wind speed, un pre-processing tool, calcola la potenza eolica prevista nelle isole del Mediterraneo, sotto forma di una lunga serie oraria annuale.

Per l'analisi del flusso di carico, nel corso della ricerca è stato sviluppato lo strumento Load flow (e il relativo manuale d'uso), un software in grado di importare dati GIS e di metterli in relazione con le caratteristiche della rete elettrica; esso mostra i potenziali conflitti in termini di tensione o capacità di potenza nei punti di connessione selezionati di ogni scenario analizzato. La modellazione è stata condotta con il supporto di EnergyPLAN. Per agevolarne l'interpretazione, è stato sviluppato durante la ricerca un post-processing tool in Microsoft Excel l'EnergyPLAN Model Analysis, aggiornato e testato nei diversi casi di studio, trasforma i risultati in grafici, diagrammi orari, ecc.

Inoltre, la ricerca è caratterizzata dall'integrazione di aspetti transnazionali. La scelta della cornice geografica non circoscritta alle frontiere nazionali, dalla quale "osservare" e analizzare potenzialità e criticità del percorso verso l'obiettivo comune di transizione energetica, ha agevolato: la condivisione, l'acquisizione di nuove competenze per sperimentare e migliorare metodologie, lo sviluppo di nuovi approcci e il consolidamento di una rete di rapporti internazionali fra Università, PMI, Ente Locale.

In terms of results, the research confirmed the validity (and operational flexibility) of the toolkit. The outputs of the model provide optimal configurations of the electricity system from a technical-economic and climate-emission reduction perspective. For each of the scenarios, the model assesses the capacity of the local grid to "accommodate" new RES. It also suggests the location of plants, indicates the necessary level of reinforcement required by the grid and, finally, supports the planning of interventions and future facility management activities.

In terms of tools, each of the steps is supported - and this is one of the innovative features of the research - by the use of open source software and software developed specifically for the study, along with their respective user manuals (PRISMI, 2018).

RES mapping was conducted using the

Web tool Renewables.ninja. The PRISMI_Wind_Calculator pre-processing tool, on the other hand, calculates the expected wind power in the Mediterranean islands in the form of a long annual hourly series.

For the load flow analysis, the load flow tool was developed during the research (and its user guide). It is a software that can import GIS data and correlate them with the characteristics of the electricity grid. It shows potential conflicts in terms of voltage or power capacity at selected connection points of each analysed scenario.

To facilitate interpretation, an EnergyPLAN Model Analysis post-processing tool was developed during the research in Microsoft Excel. This tool has been updated and tested in different case studies and transforms the results into graphs, hourly diagrams, etc.

Furthermore, the research is charac-

Il carattere transnazionale è un valore aggiunto anche per il network attivato dalla ricerca (le amministrazioni locali ne aderiscono gratuitamente).

A titolo esemplificativo, l'illustrazione di uno dei casi studio, l'isola Vis (Croazia) inserita nell'elenco della Rete Ecologica Europea Natura 2000; circa 3600 abitanti insediati su 90,3 km²; agricoltura e turismo caratterizzano l'economia.

La mappatura della domanda di energia fornisce i dati di input per gli scenari di configurazione del sistema energetico; il consumo di elettricità (dati 2016) è di circa 17,6 GWh garantito dal collegamento sottomarino con l'isola di Hvar. (Tab. 1).

Dall'analisi delle tecnologie emerge che dei circa 108630 m² di superficie del centro abitato della città di Komiza, le superfici in copertura effettivamente utilizzabili per l'installazione degli impianti FV sono circa 32589 m². I pannelli sono in grado di fornire una potenza nominale massima di 5MW. La simulazione tiene conto anche dell'impianto FV da 2 MW programmato dall'Ente Locale.

Anche se il potenziale di energia eolica è significativo, il suo utilizzo è limitato dai vincoli ambientali; la biomassa invece viene utilizzata per usi domestici nelle stufe; il potenziale per gli impianti idroelettrici a pompa è limitato dalle normative sulla protezione ambientale e al momento non ci sono sufficienti dati a conferma della fattibilità del loro utilizzo. Tecnologie per sfruttare l'energia delle maree e delle onde, sono poco indagate e mappate per essere incluse nelle analisi.

Gli scenari

LowRES segue le stesse dinamiche di utilizzo delle FER già proposte nei PAES vigenti; RES, aumento dell'uso delle FER tenendo conto dei vincoli ambientali e del quadro legislativo; HighRES, modellazione per un sistema 100% alimentato da FER. I dati sono stati estrapolati dal Piano di Azione per l'Energia elaborato dalla Città di Komiza. (Pfeifer et. al 2017) (Fig. 2).

Negli scenari LowRES e HighRES i valori della domanda sono diversi; la differenza corrisponde alla domanda per i veicoli elettrici (Fig. 3).

I primi risultati della modellazione evidenziano che nello scenario LowRES e RES la produzione di energia rinnovabile (esclusivamente dal solare FV) è circa 1,61 GWh/anno e 15,62 GWh/anno rispettivamente. Nello scenario HighRES la produzione è di circa 23,28 GWh/anno di cui 18,14 dal solare e i restanti 4,63 dall'eolico.

Più nel dettaglio, la fornitura di energia primaria nello scenario LowRES è coperta al 30% circa dall'energia solare mentre il restante 70% proviene dalle importazioni (prodotte da fonti fossili); nello scenario RES il 30% proviene dalle importazioni e il 70% da RES; nello scenario HighRES il 98% del fabbisogno di energia è garantito dalle rinnovabili.

A questi dati di energia prodotta corrispondono le relative quote di FER nella produzione di energia elettrica. Lo scenario RES copre già una percentuale molto elevata della produzione di energia ma la quota nella fornitura di energia primaria è inferiore del 20%. Pertanto, nello scenario HighRES, tutti i veicoli

Needs	Level	Geographic distribution	Code	Resources	Level	Code
<i>Local primary energy</i>						
Electricity	Medium	Concentrated	ElecMC	Wind	Medium	WindM
Heat	Low	Dispersed	HeatLD	Solar	High	SolarH
Cold	Low	Dispersed	ColdLD	Hydro (Height)	Medium	HydroM
Transport fuel	Low	Long	Tran LL	Biomass	Medium	BiomM
Water	Medium	Dispersed	WaterMD	Geothermal	Low	GeothL
Waste treatment	Low	Dispersed	WasteLD	<i>Energy import infrastructure</i>		
Wastewater treatment	Low	Dispersed	WWTLD	Grid connection	Strong	GridS
				Natural gas pipeline	No	NGpiN
				LNG terminal	No	LNGtN
2030 scenarios				Oil terminal/refinery	No	OiIRN
input data	LowRES	RES	HighRES	Oil derivates terminal	No	OiIDN
PV (MW)	1,03	10,03	12,05	<i>Water</i>		
Wind (MW)	0	0	3,5	Precipitation	Low	H2OPLL
EV (no.of vehicles)	0	617	1.234	Ground water	Low	H2OGL
EV connection (MW)	0	1,985	9,131	Water pipeline	Yes	AcquaY
EV demand (GWh)	0	1,778	2,767	Sea water	Yes	H2OSY
EV battery (MWh)	0	14,496	48,126			

02 | Risultati dell'estrapolazione dei dati riguardanti gli impianti fotovoltaici per l'isola di Vis. Fonte dei dati: Piano energetico di Komiza e Pfeifer et al. (2017)
Results of data extrapolation regarding PV installations for the island of Vis. Data source: Komiza Energy Plan and Pfeifer et al. 2017

03 | Carico orario medio mensile per gli scenari LowRES e HighRES per l'isola di Vis. Fonte dati: autori
Monthly average hourly load for LowRES and HighRES scenarios for the island of Vis. Data source: authors

sono sostituiti da veicoli elettrici ed è possibile una esportazione netta pari al 7% della produzione di energia elettrica (Fig. 4). Per raggiungere il 99,3% nello scenario HighRES c'è il contributo aggiuntivo di energia eolica mensile variabile e dei Vehicle-to-Grid (V2G) utilizzando le batterie per l'accumulo di energia (Fig. 5).

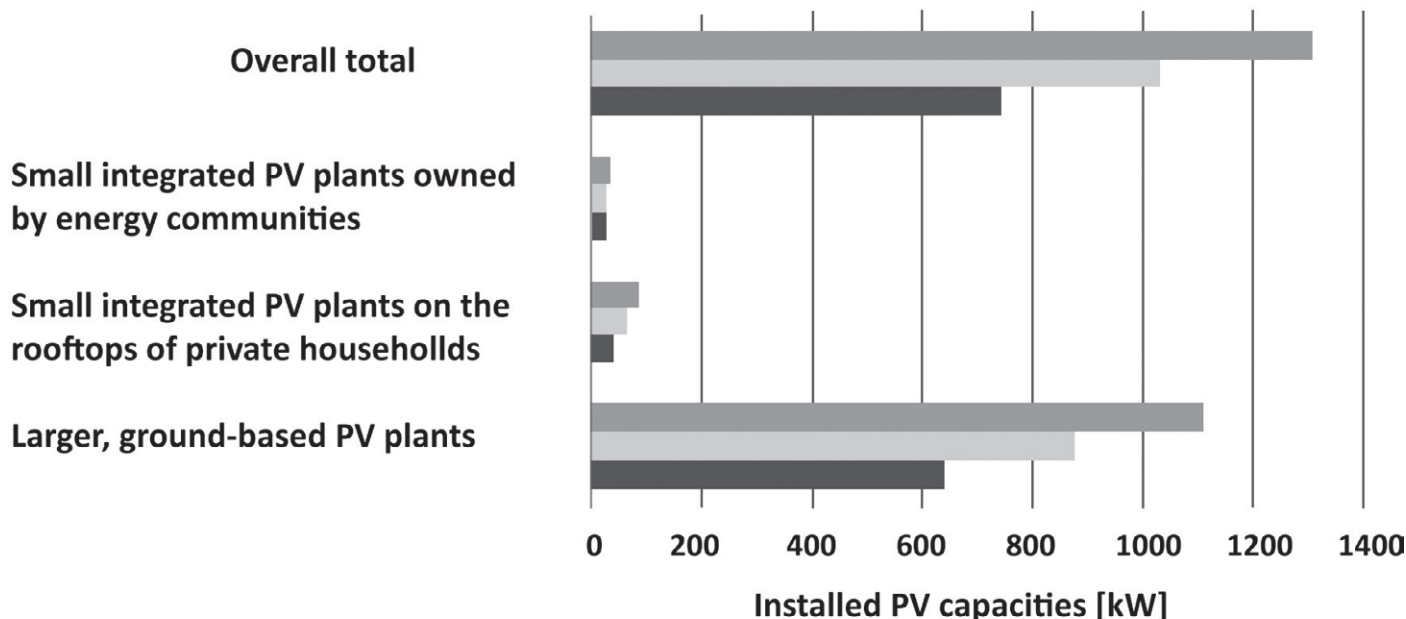
Per quanto riguarda la fattibilità economica, i dati di input per la modellazione dei prezzi delle tecnologie in tutti gli scenari sono: FV 1,1 kEUR/kW; turbine eoliche 1,3 kEUR/kW e veicoli elettrici 37,8 kEUR/unità. Il ciclo di vita ipotizzato è di 20 anni per gli impianti e 10 anni per i veicoli elettrici. I costi delle tecnologie per lo stoccaggio e il bilanciamento (in

kEU): scenario RES circa 1200 e HighRES circa 3100 associati ai V2G. Non sono previste batterie stazionarie (Fig. 6).

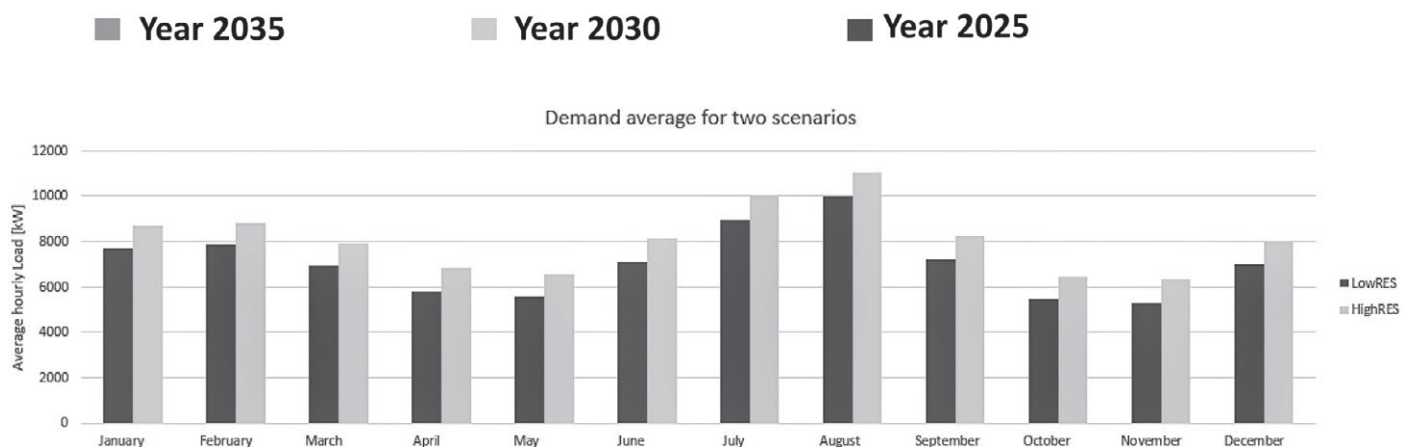
Gli aspetti ambientali fanno riferimento alla riduzione delle emissioni di gas serra. (Fig. 7).

Inoltre, nel delicato equilibrio fra economia e ambiente l'Ente locale ha previsto una centrale solare a Podspilje (3,6 km a sud-ovest di Vis e 4,8 km ad est di Komiza): 57428 m²; 2000 kW di connessione alla linea elettrica, mentre la potenza del modulo fotovoltaico installato sarà leggermente superiore per compensare le perdite; produzione annua circa 2800 MWh (il consumo medio annuo di circa 550 famiglie); costi di costruzione circa € 2500000.

02 |

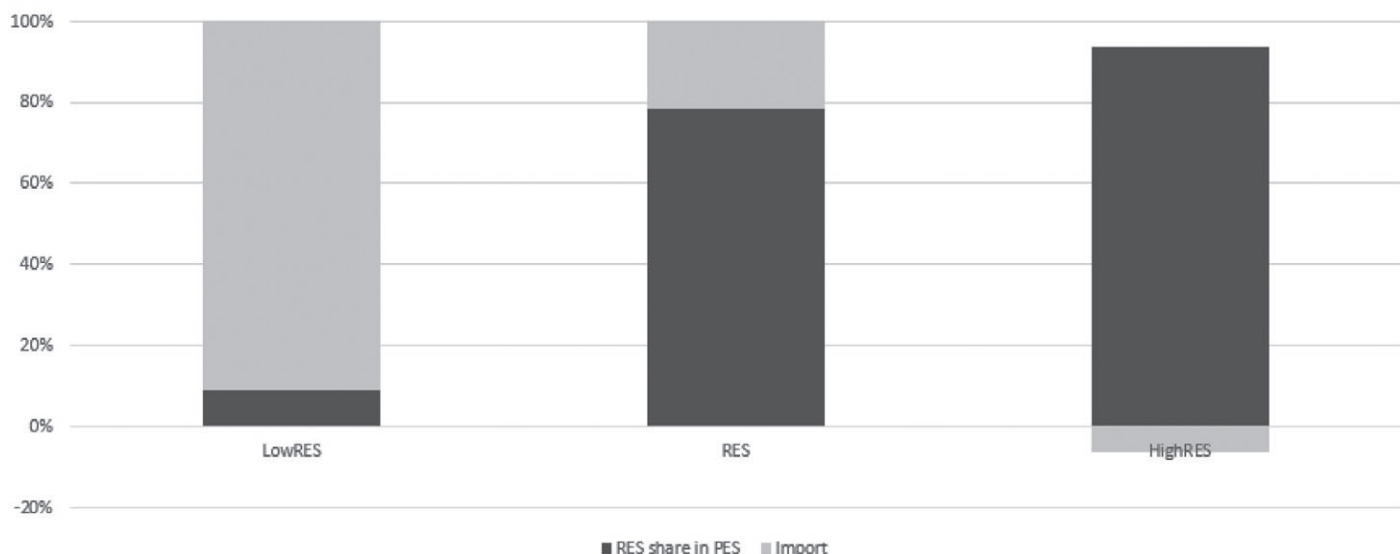


03 |



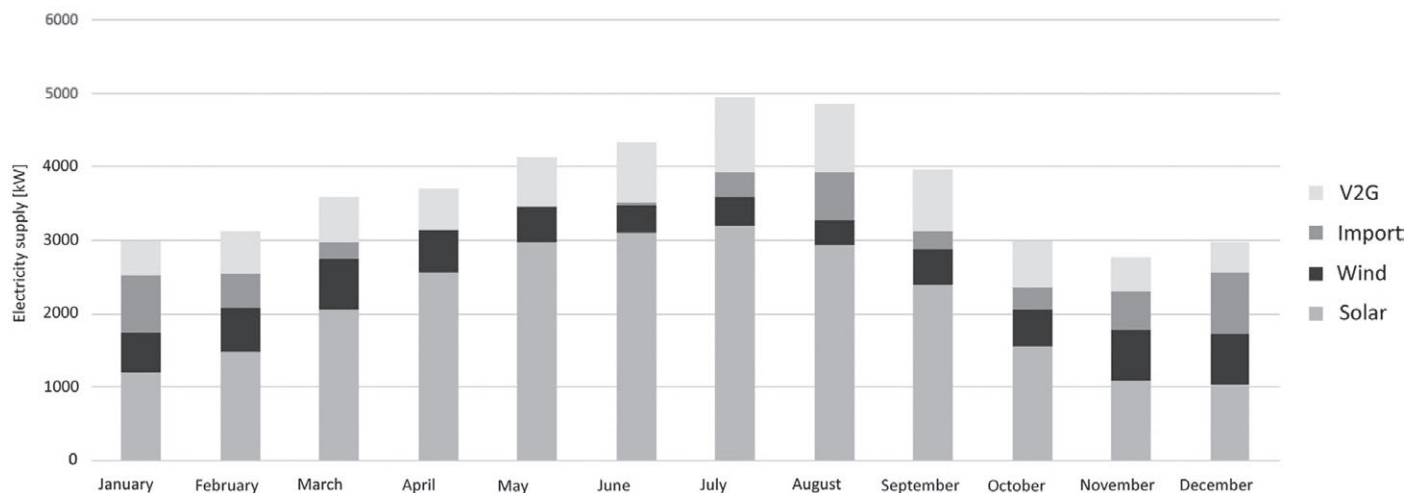
RES share in electricity production

| 04



HighRES scenario

| 05



terised by the integration of transnational aspects.

The choice of a geographical framework not limited to national borders, from which to “observe” and analyse the potential and critical factors of the common goal of energy transition, facilitated sharing, the acquisition of new skills and competences to test and improve methodologies and develop new approaches, and the consolidation of a network of international relationships between universities, SMEs and local authorities.

The transnational character is also an added value for the network set up

by the research (local administrations join it free of charge).

An example is provided by a case study. The methodology described has been applied on the island of Vis (Croatia), listed in the Natura 2000 European Ecological Network. It counts a population of about 3600 inhabitants, and has a surface area of 90.3 km². Agriculture and tourism are the major economic activities.

Energy demand mapping provides input data for the energy system configuration scenarios. Electricity consumption (2016 data) is approximately 17.6 GWh guaranteed by the underwater

connection to the island of Hvar (Tab. 1).

The study shows that the suitable rooftop area that could be used for PV generation is approximately 32589 m² out of the approximately 108630 m² total rooftop area of Komiza’s inhabited centre. The PV panels can deliver a maximum power of 5 MW. The simulation also takes into account the 2 MW PV plants planned by the local authority. Although the potential for wind energy is significant, its use is limited by environmental constraints. Biomass, on the other hand, is used for domestic purposes in stoves. The potential

for pumped hydroelectric plants is limited by environmental protection regulations, and there is currently insufficient data to confirm the feasibility of their use. Technologies to harness tidal and wave energy are poorly investigated and mapped for inclusion in analyses.

The scenarios. LowRES follows the same dynamics of FER usage proposed in the existing PAES. RES considers an increase in FER usage while taking into account environmental constraints and the legislative framework. HighRES models a system that is 100% powered by FER. The data was

Le configurazioni del sistema energetico secondo gli scenari forniscono indicazioni pratiche per il diretto e immediato utilizzo delle risultanze; dalla maggiore consapevolezza delle proprie azioni, l'Ente locale può definire le priorità, individuare i finanziamenti disponibili eventualmente collaborando con altri Comuni, programmare i tempi coinvolgendo i cittadini sin dalle fasi iniziali.

Per i Comuni si delinea quindi la possibilità di documentare il percorso di transizione energetica verso la decarbonizzazione elaborando e/o aggiornando i propri PAESC (Piano di Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima) o CETA (*Clean Energy Transition Agenda*).

I soggetti coinvolti sono al momento tutti pubblici, anche se in funzione degli indirizzi del Comune, a seguito delle risultanze, si spera di coinvolgere – per loro stesso interesse – anche il mercato privato.

Risultati, limiti della ricerca, conclusioni, ulteriori sviluppi

Alcuni aspetti analitici, compatibili con l'obbligatoria lunghezza di questo testo, sono già stati illustrati e si spera esaurientemente.

Un ulteriore risultato sarà raggiungibile solo quando le simulazioni includeranno – come suggerito dalla *call* – i dati relativi alle iniziative orientate alla drastica riduzione della domanda energetica.

Particolare attenzione quindi agli interventi di retrofit degli edifici; procedure complesse che possono essere supportate dalla digitalizzazione con strumenti quali il BIM per garantire riduzioni dei consumi del 20-30% e dei tempi di tutto il processo edilizio di circa il 60% rispetto alle procedure tradizionali.

(Cumò *et al.*, 2019). Gli scenari quindi potranno essere aggiornati dai singoli Comuni, in autonomia, utilizzando il toolkit in funzione della riduzione dei consumi degli edifici via via conseguiti.

Oltre agli edifici efficienti sarà necessaria l'integrazione Building-to-Grid (B2G) per l'interconnessione tra edifici, reti energetiche e tecnologie digitali; anche il settore dei trasporti pubblici (su strada e marittimo) dovrà essere adattato (e rimodellato) nello scenario RES100%.

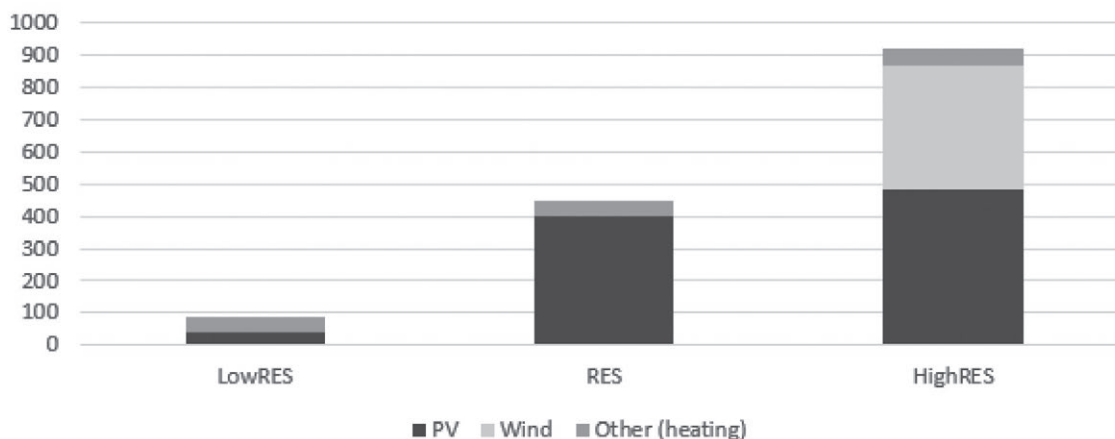
La trasferibilità delle risultanze è stata verificata in 5 realtà geografiche e la penetrazione delle rinnovabili nel sistema mostra valori variabili da 30 a 90 GWh/anno; risultati significativi richiedono un approccio sistemico, digitalizzato e l'integrazione fra tecnologie RES in un mix, anche di finanziamenti, fra pubblico e privato con particolare attenzione, come su anticipato, al funzionamento del mercato elettrico.

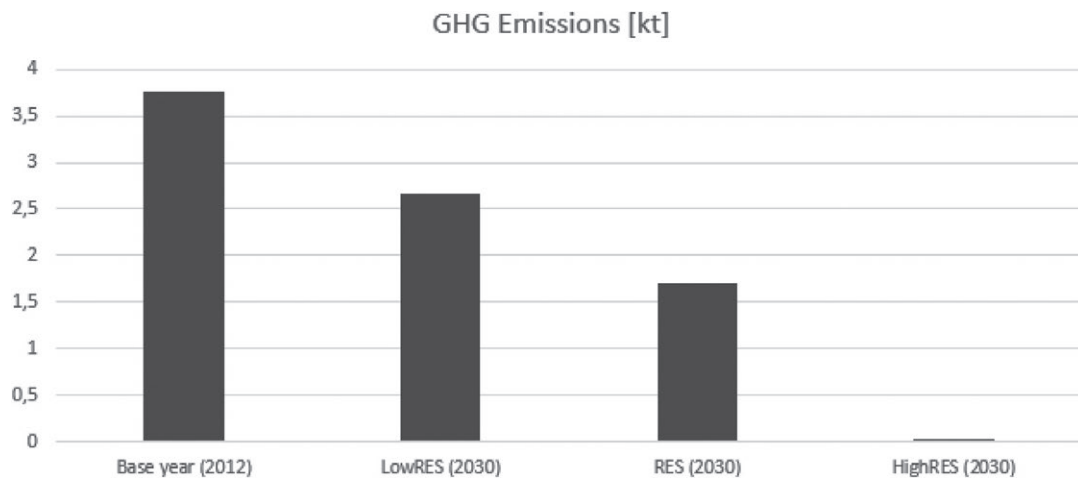
Per concludere, la proposta tecnico-scientifica – circoscritta ad una area tematica quale quella energetica – può solo contribuire, collaborare, essere di stimolo ad un migliore assetto del territorio ma non può avere la presunzione di essere la sola ed unica chiave di lettura dal momento, come è ovvio, che numerose, complesse, articolate e talvolta contraddittorie sono le logiche, le competenze, gli obiettivi che nel loro complesso riescono a determinarne gli equilibri e le funzioni che vi si insediano ed il comportamento di quanti ci vivono e lavorano.

La transizione energetica va costruita dal basso, nelle realtà di ogni territorio anche per riflettere sulle fragilità presenti, contrastando disuguaglianza sociale e povertà energetica.

06 |

Cost of investment per RES technology for all scenarios [kEUR]





FINANZIAMENTI

La ricerca è stata cofinanziata dal Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FESR) nell'ambito dell'Interreg Med Programme (2014-2020). Coordinamento: Università Sapienza di Roma P.I. Prof. Davide Astiaso Garcia. Partner: *Centre for Renewable Energy Sources and Saving* e Università del Pireo di Scienze Applicate; Università di Zagabria; *Cyprus Energy Agency*, *Malta Intelligent Energy Management Agency* e Comune di Favignana.

REFERENCES

Cieplinski, A., D'Alessandro, S. and Marghella, F. (2021), "Assessing the renewable energy policy paradox: A scenario analysis for the Italian electricity market", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 142, p. 110838.

Cumo, F., Sferra, A. S. and Pennacchia, E. (2019), "Building heritage of Sapienza: integrated digital tools for the executive project", *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, Vol. 18, pp. 191-198.

De Pascali, P., Santangelo, S., Perrone, F. and Bagaini, A. (2020), "Territorial Energy Decentralisation and Ecosystem Services in Italy: Limits and Potential", *Sustainability*, Vol. 12, p. 1424.

European Commission (2021), "Directive on the energy performance of buildings", available at: <https://cutt.ly/j3CC2da> (accessed 15 February 2023).

European Parliament (2021), "Regulation 2021/1119/UE establishing the framework for achieving climate neutrality", available at: <http://data.europa.eu/eli/reg/2021/1119/oj> (accessed 15 February 2023).

Ferrari, S., Zagarella, F., Caputo, P. and Dall'O, G. (2021), "A GIS-Based Procedure for Estimating the Energy Demand Profiles of Buildings towards Urban Energy Policies", *Energies*, Vol. 14, p. 5445.

Garcia, D. A., Groppi D. and Bruschi D. (2022), "Nuovi strumenti e strategie per pianificare la transizione energetica delle isole minori", in Ferrante T. and Tucci F. (Eds) *BASES. Benessere Ambiente Sostenibilità Energia Salute. Programmare e progettare nella transizione*, FrancoAngeli.

GSE (2021), "Gestore servizi Energetici. Rapporto Statistico 2019 Fonti Rinnovabili", available at: <https://cutt.ly/u3CCLNX> (accessed 15 February 2023)

Heydari, A., Nezhad, M.M., Pirshayan, E., Garcia, D. A., Keynia, F. and de Santoli, L. (2020), "Short-term electricity price and load forecasting in isolated power grids based on composite neural network and gravitational search optimization algorithm", *Applied Energy*, Vol. 277 p. 115503.

extrapolated from the Energy Action Plan developed by the City of Komiza (Pfeifer et. al 2017) (Fig. 2). The values of energy demand are different in the LowRES and HighRES scenarios, with the difference corresponding to the demand for electric vehicles (EVs) (Fig. 3). Initial modelling results show that in the LowRES and RES scenarios, renewable energy production (exclusively from solar PV) is about 1.61 GWh/year and 15.62 GWh/year, respectively. In the HighRES scenario, the production is about 23.28 GWh/year of which 18.14 from solar energy and the remaining 4.63 from wind energy. In more detail, the primary energy supply in the LowRES scenario is about 30% covered by solar energy, while the remaining 70% comes from imports (produced from fossil fuels). In the RES scenario 30% comes from

imports and 70% from RES. In the HighRES scenario 98% of the energy demand is provided by renewables. The energy production data corresponds to the respective shares of FER in electricity production. The RES scenario already covers a very high percentage of electricity production, but the share in primary energy supply is less than 20%. Therefore, in the HighRES scenario, all vehicles are replaced with EVs and a net export of 7% of electricity production is possible (Fig. 4). To reach 99.3% in the HighRES scenario, there is an additional contribution from vehicle-to-grid (V2G) technology (which involves using EV batteries as energy storage), and monthly variable wind energy (Fig. 5). Vehicle-to-grid (V2G) represents the discharge from EV batteries, which is represented as additional supply in the

RES and HighRES scenario. Regarding economic feasibility, the input data for modelling the prices of the implemented technologies in all scenarios are: PV 1.1 kEUR/kW; wind turbines 1.3 kEUR/kW and electric vehicles 37.8 kEUR/unit. The assumed lifecycle is 20 years for the plants and 10 years for the electric vehicles. The costs of storage and balancing technologies (in kEUR) are around 1200 for the RES scenario and 3100 for the HighRES scenario, including the cost of V2G. Stationary batteries are not included (Fig. 6). Environmental aspects are related to the reduction of greenhouse gas emissions (Fig. 7). Furthermore, in the delicate balance between economy and environment, the local authority has planned a solar power plant in Podspilje (3.6 km southwest of Vis and 4.8 km east of

Komiža) with a surface area of 57428 m² and 2000 kW power line connection, while the installed photovoltaic module power will be slightly larger to compensate for the losses. Annual production will be approximately 2800 MWh (corresponding to the average annual consumption of approximately 550 families), and construction costs can be estimated at approximately € 2.5 million. The energy system configurations according to the scenarios provide practical indications for the direct and immediate use of the results. Greater awareness of its actions can help the local authority define priorities and identify available funding, even collaborating with other municipalities, plan the timeline and involve citizens from the initial stages. Hence, municipalities have the possibility of documenting the path of

Hoseinzadeh, S., Groppi, D., Sferra, A. S., Di Matteo, U., and Astiaso Garcia, D. (2022), “The PRISMI Plus Toolkit Application to a Grid-Connected Mediterranean Island”, *Energies*, Vol. 15, n. 22, p. 8652.

IEA (2022), “Tracking Public Investment in Energy Technology Research: A Roadmap”, available at: <https://www.iea.org/reports/tracking-public-investment-in-energy-technology-research-a-roadmap> (accessed 15 February 2023).

Kuang, Y., Zhang, Y., Zhou, B., Li, C., Cao, Y., Li, L. and Zeng, L. (2016), “A review of renewable energy utilization in islands”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 59, pp. 504-513.

MASE (2020), “Piano Nazionale Integrato per l’Energia e il Clima”, available at: https://www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/pniec_finale_17012020.pdf (accessed 15 February 2023).

MISE (2017), (D.M. 14/02/2017), “Fonti Rinnovabili nelle Isole Minori non Interconnesse”, available at: <https://cutt.ly/M3CVeI4> (accessed 15 February 2023).

Pfeifer, A., Dobravec, V., Pavlinek, L., Krajačić, G. (2017), “Integration of renewable energy and demand response technologies in connected island systems. Case study of islands of Vis, Lastovo, Korčula, Mljet and Pelješac”, *SDEWES*, Dubrovnik, Croatia, October 4-8, 2017, available at: <https://www.bib.irb.hr/898009>.

PRISMI (2018), “Report RES Feasibility Study and Comparative Analysis”, available at: <https://prismi.interreg-med.eu/> (accessed 15 February 2023).

energy transition towards decarbonisation by developing and/or updating their own SEAPs (Sustainable Energy Action Plans) or CETAs (Clean Energy Transition Agendas). At the moment, all the entities involved are public, although depending on the municipality’s trends and considering the findings of the study, it is hoped that the private market will also be involved, in the interest of such entities.

Results, research limitations, conclusions, further developments

Some analytical aspects have already been reported and, hopefully, exhaustively, considering the mandatory length of this paper. In addition, a further result will only be achievable when the simulations include, as suggested by the *call*, data on initiatives aimed at drastically reducing the energy demand.

Particular attention is, therefore, paid to building retrofits through best practices and available technologies. The complex procedures can be supported by digitisation with tools such as BIM to ensure 20-30% reductions in consumption, and a 60% reduction in the duration of the entire building process, compared to traditional procedures (Cumò *et al.*, 2019). Therefore, the scenarios can be updated by individual municipalities independently using the toolkit, based on the reduction in building consumption achieved over time.

In addition to efficient buildings, Building-to-Grid (B2G) integration will be needed to interconnect buildings, energy networks and digital technologies. The public transport sector (road and maritime) will also have to be adapted (and re-modelled) in the RES100% scenario.

The transferability of the results has been verified in five geographical areas, and the penetration of renewables into the system shows variable values from 30 to 90 GWh/year. Significant results require a systemic, digitised approach and the integration of RES technologies into a mix, including financing from both public and private sectors, with particular attention, as previously mentioned, to electricity market operations.

In conclusion, the technical-scientific proposal – circumscribed to a thematic area such as energy – can only contribute, collaborate towards, and be a stimulus to better organisation of the territory. It cannot have the presumption of being the one and only key to interpretation since there are obviously numerous, complex, articulated and, sometimes, contradictory rationales, competencies, and objectives. All these

capabilities, overall, are able to determine the balances and functions that settle there and the behaviour of those who live and work there.

The energy transition must be a bottom up approach tailored for each territory, also to reflect on present weaknesses, fighting social inequality and energy poverty.

FUNDING SOURCES

The research was co-financed by the European Regional Development Fund (ERDF) under the Interreg Med Programme (2014-2020). Coordination: Sapienza University of Rome P.I. Prof. Davide Astiaso Garcia. Partners: Centre for Renewable Energy Sources and Saving and Piraeus University of Applied Sciences; University of Zagreb; Cyprus Energy Agency, Malta Intelligent Energy Management Agency and Municipality of Favignana.