

F. Bignucolo – Energia e Sostenibilità nel XXI secolo

SEZIONE 3.4

Smart grids e sistemi di accumulo

Fabio Bignucolo

Dipartimento di Ingegneria Industriale
Università di Padova

Centro studi Levi Cases

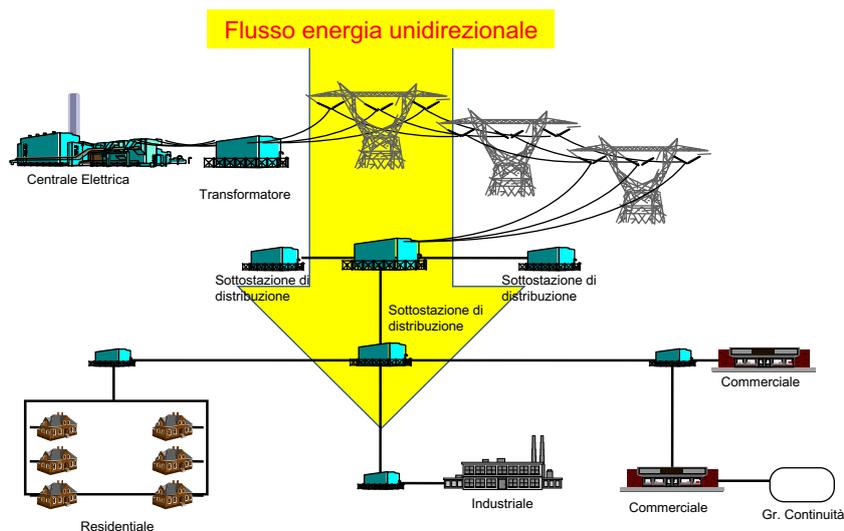


1

1

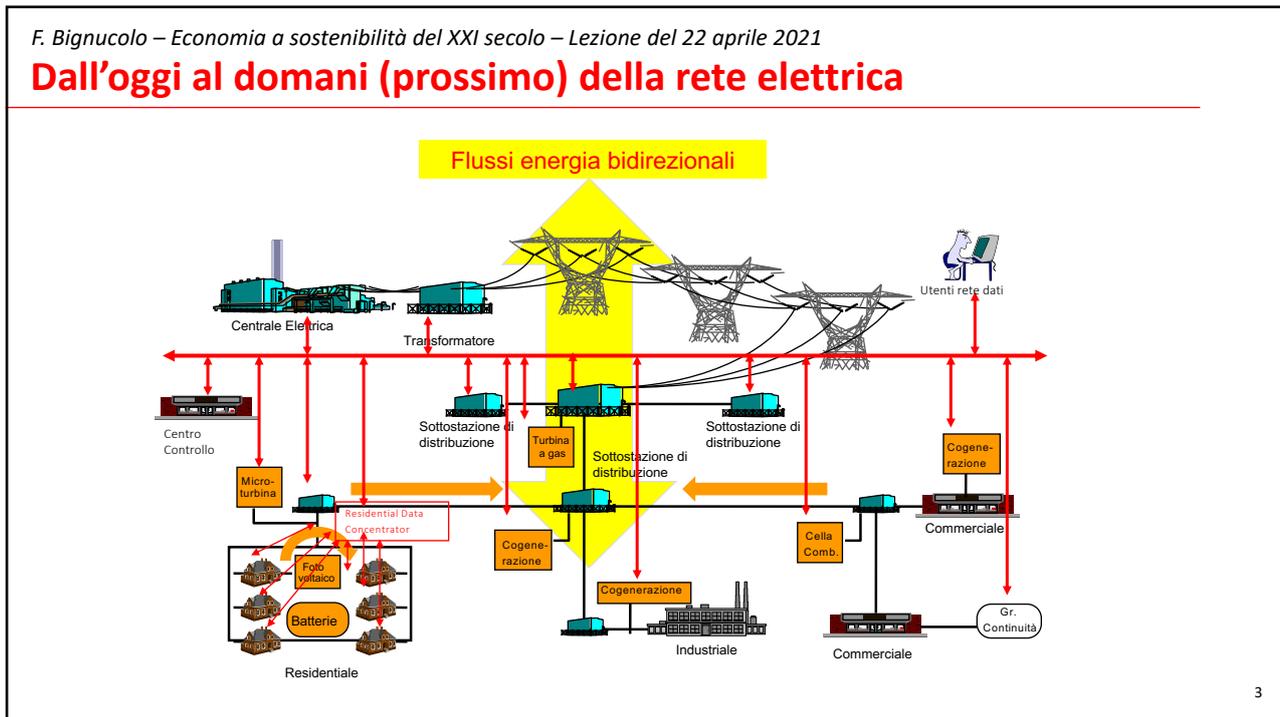
F. Bignucolo – Economia a sostenibilità del XXI secolo – Lezione del 22 aprile 2021

Dall'oggi al domani (prossimo) della rete elettrica



2

2



3

F. Bignucolo – Economia a sostenibilità del XXI secolo – Lezione del 22 aprile 2021

La Generazione Distribuita oggi

- Non pianificata centralmente
- Non dispacciata centralmente (“generazione indipendente”)
- Connessa alla rete di distribuzione in MT (20 kV) o BT (400 V)
- Taglia medio-piccola (≤ 10 MVA)

Aspetti tecnici

- Nuove tecnologie disponibili
- Analisi e riduzione dell'impatto sulla rete

Aspetti ambientali

- Vincoli legislativi
- Emission credits
- Promozione IAFR

Aspetti normativi

- Norme tecniche (CEI ecc.)
- RTC di distributori e Terna
- Delibere AEEG

Aspetti economici

- Costi di generazione
- Forme di incentivazione/agevolazione
- Gestione di mercato

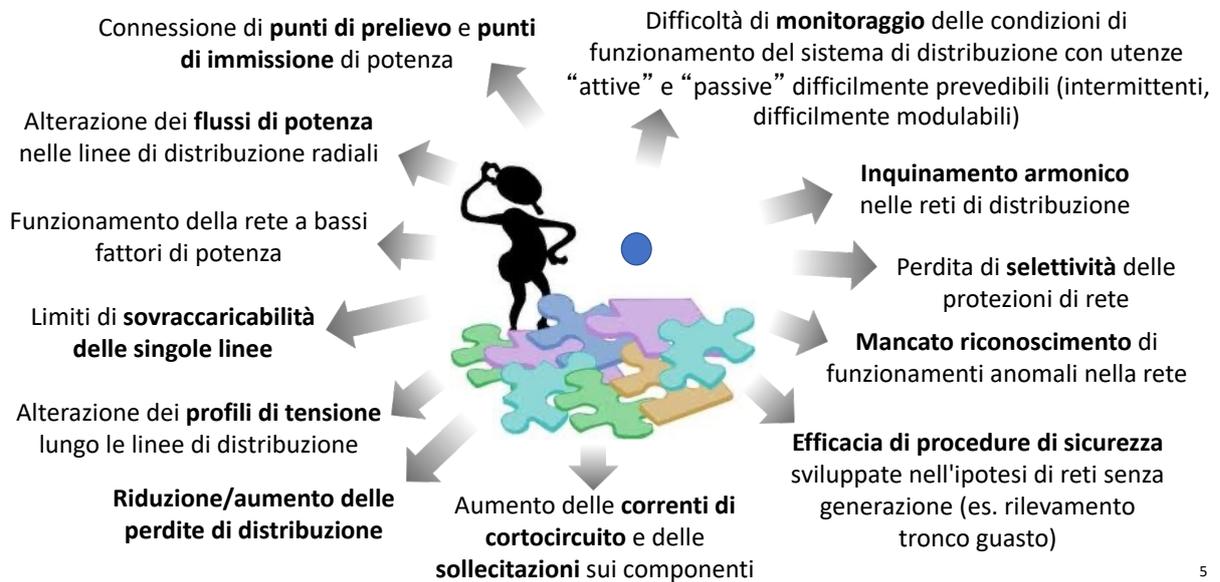
IAFR ≠ GD

4

4

F. Bignucolo – Economia a sostenibilità del XXI secolo – Lezione del 22 aprile 2021

La Generazione Distribuita oggi



5

5

F. Bignucolo – Economia a sostenibilità del XXI secolo – Lezione del 22 aprile 2021

Verso le smart grids



La vecchia struttura della rete elettrica a causa dei mutamenti da anni in atto sarà sempre meno idonea alle necessità del futuro, dovrà pertanto modificarsi divenendo più:

“intelligente” - affidabile - sostenibile - economica

La Comunità Europea recentemente ha posto traguardi molto ambiziosi, riassunti dal famoso motto **“20 20 20 2020”**

(ridurre del 20% le emissioni di CO₂, portare al 20% la produzione da fonti rinnovabili, ridurre del 20% il consumo tramite misure di efficienza energetica, entro il 2020).

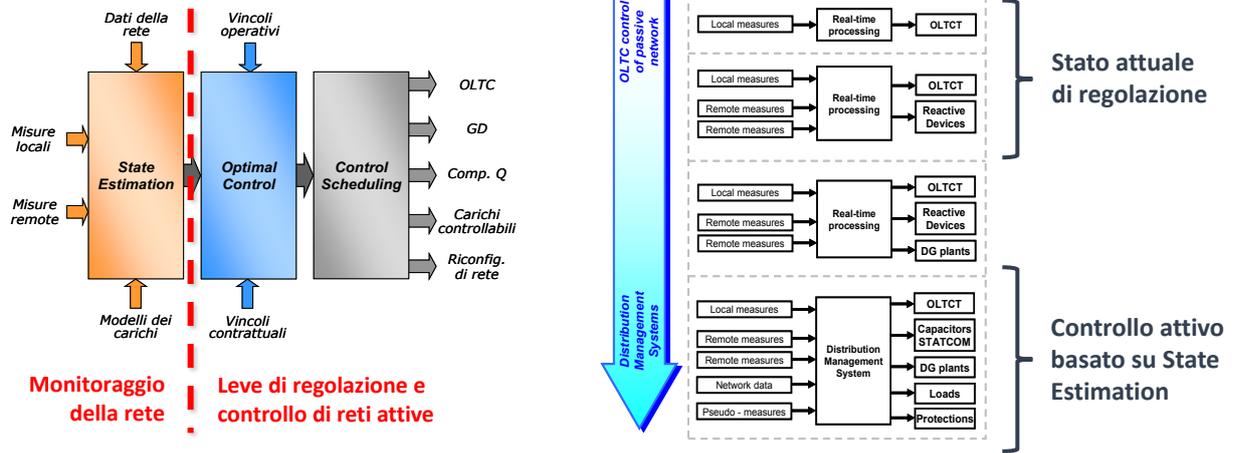
+ 20 (competenza regionale in ambito energetico)

6

6

F. Bignucolo – Economia a sostenibilità del XXI secolo – Lezione del 22 aprile 2021

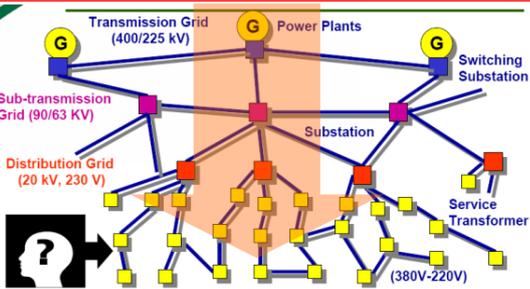
Verso le smart grids



7

F. Bignucolo – Economia a sostenibilità del XXI secolo – Lezione del 22 aprile 2021

Verso le smart grids

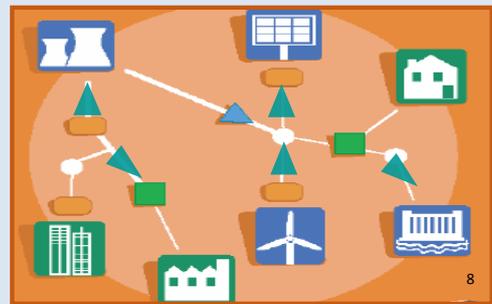


OGGI...

- Controllo centralizzato
- Flusso di energia unidirezionale
- Limitata interazione con i carichi locali

... DOMANI

- Controllo delocalizzato
- Flussi di energia multi – direzionali
- Possibilità di interazione con i carichi
- Segnali di prezzo/volume in real-time



8

F. Bignucolo – Economia a sostenibilità del XXI secolo – Lezione del 22 aprile 2021

Reti attuali Vs. Smart grids

RETI ATTUALI (esercizio passivo)
Soluzioni ad hoc per l'allacciamento delle utenze
Differenti standard (per disp. di potenza e telecom.)
Comunicazioni limitate e mono-direzionali
Sistemi parzialmente analogici
Monitoraggio limitato della rete
Sistemi poco monitorati
Controllo centralizzato
Pochi sistemi di accumulo
Manutenzione/sostituzione a tempo o su evento
Ripresa del servizio manuale
Scarsità di mercati nei sistemi di distribuzione
Vincoli ai mercati dati da congestioni di rete
Modesto controllo dei flussi di potenza
Limitate informazioni di mercato comunicate agli utenti
Utenti passivi



9

9

F. Bignucolo – Economia a sostenibilità del XXI secolo – Lezione del 22 aprile 2021

Reti attuali Vs. Smart grids

RETI ATTUALI (esercizio passivo)	RETI FUTURE (Smart Grids)
Soluzioni ad hoc per l'allacciamento delle utenze	Allacciamento plug&play
Differenti standard (per disp. di potenza e telecom.)	Standard comuni
Comunicazioni limitate e mono-direzionali	Comunicazioni diffuse e bi-direzionali
Sistemi parzialmente analogici	Sistemi digitali integrati
Monitoraggio limitato della rete	Misure e sensori integrati in tutti i dispositivi e interfacciati su diversi livelli gerarchici
Sistemi poco monitorati	Sistemi con autodiagnostica
Controllo centralizzato	Sistemi di controllo gerarchizzati
Pochi sistemi di accumulo	Sistemi di accumulo diffusi
Manutenzione/sostituzione a tempo o su evento	Manutenzioni/sostituzioni definite dai livelli di performance
Ripresa del servizio manuale	Sistemi di protezione autoadattativi, auto-islanding
Scarsità di mercati nei sistemi di distribuzione	Mercati pienamente sviluppati localmente
Vincoli ai mercati dati da congestioni di rete	Riduzione delle congestioni di rete tramite adeguamenti tecnologici e meccanismi di mercato
Modesto controllo dei flussi di potenza	Condizionamento attivo dei load flow (tramite dispositivi basati su elettronica di potenza FACTS/inverter)
Limitate informazioni di mercato comunicate agli utenti	Apertura e trasparenza del mercato nella distribuzione
Utenti passivi	Utenti attivi sul mercato

10

10

F. Bignucolo – Economia a sostenibilità del XXI secolo – Lezione del 22 aprile 2021

Presupposti tecnico-regolamentari per le reti smart

SVILUPPI TECNICI

- **Architetture di controllo per reti attive**
- Sviluppo di nuove tecnologie basate su **elettronica di potenza** a costi interessanti (interruttori statici, FACTS, sistemi di condizionamento della PQ)
- Sviluppo di **sistemi di comunicazione diffusi** e a basso costo per automazione di rete, servizi on-line, gestione attiva e risposta alla domanda
- Sviluppo di apparecchiature per l'**accumulo energetico**

DECISIONI STRATEGICHE

+

ATTEGGIAMENTO DEGLI OPERATORI

- Incremento massiccio della **penetrazione di impianti GD** sulla spinta della regolamentazione – **incentivazione** agevolazioni alle fonti rinnovabili
- **Atteggimento dei distributori** e loro disponibilità ad investire in **ricerca e innovazione**
- **Atteggimento legislativo e di ARERA** in merito alla tutela del diritto all'allacciamento degli impianti di utenza/generazione
- Definizione di **regole standard**
- **Incentivazione ai distributori** per l'allacciamento di IAFR
- Incremento della **trasparenza** in ambito burocratico – autorizzativo e abolizione delle procedure di allacciamento ad hoc
- Sviluppo di **micro – mercati locali per lo scambio di servizi ancillari**

11

11

F. Bignucolo – Economia a sostenibilità del XXI secolo – Lezione del 22 aprile 2021

Sistemi di accumulo. Perché?

- Il crescere della diffusione di impianti rinnovabili, soprattutto di tipo eolico e fotovoltaico, necessita una **maggiore flessibilità** del sistema elettrico per la loro efficace integrazione:
 - Compensazione generazione/carico (es. fotovoltaico giorno/notte)
 - Regolazione frequenza/tensione per garantire la stabilità della rete
 - Risorse compensative a fronte della non dispacciabilità e della imprevedibilità della fonte primaria
 - Compensazione delle variazioni rapide di generazione (folate di vento, transiti nuvolosi)
- I servizi di regolazione della rete possono essere:
 - Forniti a **impianti dedicati di proprietà dei soggetti gestori** (es. reattori installati da Terna per contenere le sovratensioni nelle aree meridionali in condizioni di forte generazione eolica/fotovoltaica)
 - Richiesti agli **utenti/generatori**:
 - su base volontaria o obbligatoria
 - in forma gratuita o remunerata

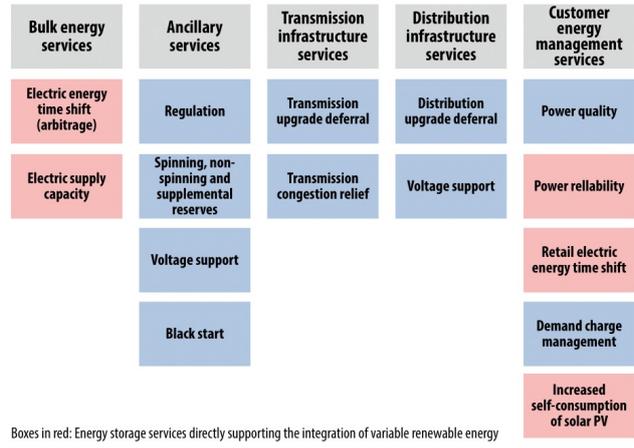
12

12

F. Bignucolo – Economia a sostenibilità del XXI secolo – Lezione del 22 aprile 2021

Sistemi di accumulo. Perché?

- Un elenco dei servizi che possono essere forniti da ESS nei sistemi elettrici di potenza è riportata nella figura
 - Le varie funzionalità sono classificate per **ambito di azione**:
 - Sistema energetico complessivo
 - Servizi Ancillari (regolazione della rete)
 - Gestione e pianificazione della rete di trasmissione in Alta Tensione
 - Gestione e pianificazione delle reti di distribuzione in Media/Bassa Tensione
 - Servizi per gli utenti finali
 - Alcune funzioni possono essere particolarmente interessanti in riferimento all'integrazione degli impianti rinnovabili in rete



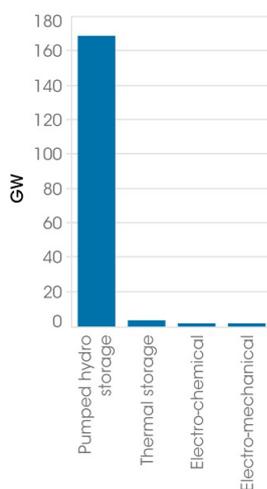
13

13

F. Bignucolo – Economia a sostenibilità del XXI secolo – Lezione del 22 aprile 2021

La fotografia attuale

- Ripartizione dei sistemi ESS installati per tecnologia e per funzione principale erogata (aggiornamento 2017)



Service/Use Case 1	Pumped hydro storage	Thermal Storage	Electro-chemical	Electro-mechanical	Grand total (GW)
Electric Energy Time Shift	149.94	0.14	0.15	0.11	150.34
Electric Supply Capacity	6.91	0.00	0.07	0.20	7.18
Black Start	5.92	0.04	0.04	0.32	6.29
Renewables Capacity Firming	3.20	2.39	0.10	0.00	5.68
Electric Supply Reserve Capacity - Spinning	2.00	0.18	0.18	0.01	2.18
Frequency Regulation		0.00	0.95	0.04	1.00
On-Site Power	0.14	0.00	0.00	0.86	1.00
Electric Bill Management	0.38	0.10	0.16	0.00	0.64
Renewables Energy Time Shift		0.48	0.05	0.00	0.54
Demand Response	0.42		0.01		0.43
Voltage Support	0.30		0.00	0.00	0.31
On-site Renewable Generation Shifting		0.21	0.02		0.23
Resiliency			0.03	0.01	0.04
Transport Services			0.04	0.00	0.04
Grid-Connected Commercial (Reliability & Quality)			0.02		0.02
Microgrid Capability		0.00	0.01		0.02
Electric Bill Management with Renewables			0.02	0.00	0.02
Ramping			0.02	0.00	0.02
Distribution Upgrade Due to Solar			0.01		0.01
Stationary Transmission/Distribution Upgrade Deferral			0.01		0.01
Distribution Upgrade Due to Wind			0.00	0.01	0.01
Load Following (Tertiary Balancing)			0.00		0.00
Transmission Congestion Relief			0.00		0.00
Electric Supply Reserve Capacity - Non-Spinning			0.00		0.00
Transportable Transmission/Distribution Upgrade Deferral			0.00		0.00
Grid-Connected Residential (Reliability)			0.00		0.00
Transmission Support			0.00		0.00
Grand total (GW)	169,21	3,32	1,91	1,57	176,01

(96,1%)

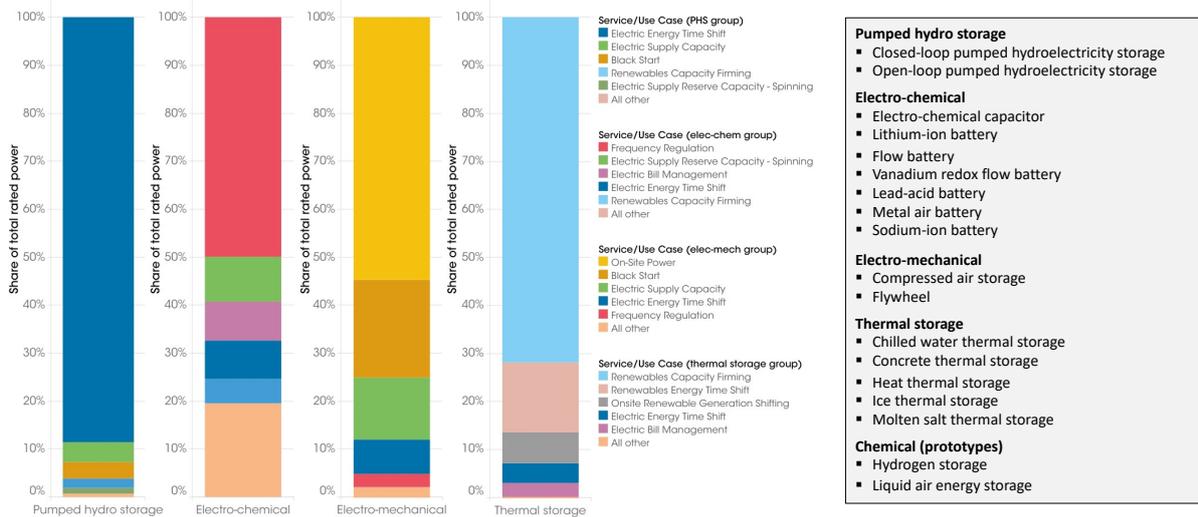
14

14

F. Bignucolo – Economia a sostenibilità del XXI secolo – Lezione del 22 aprile 2021

La fotografia attuale

- Ripartizione dei sistemi ESS installati per tecnologia e per funzione principale erogata (aggiornamento 2017)



15

F. Bignucolo – Economia a sostenibilità del XXI secolo – Lezione del 22 aprile 2021

Servizi erogabili per soggetto interessato

- In questa slide, i servizi erogabili da ESS riportati in precedenza sono riorganizzati per tipologia di soggetto interessato

<p><u>GENERAZIONE RINNOVABILE</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Flessibilità di generazione ▪ Aumento della hosting capacity e minimizzazione dell'impatto sulla rete ▪ Limitazione dei disturbi ▪ Minimizzazione di congestioni in immissione (curtailment) ▪ Supporto nell'erogazione di servizi di rete (obbligatori/facoltativi, gratuiti/remunerati) ▪ Mercato dell'energia (arbitraggio) 	<p><u>GENERAZIONE TRADIZIONALE (FOSSILE)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fornitura di contributi regolanti ▪ Black start ▪ Mercato dell'energia (arbitraggio) ▪ Disponibilità di potenza (capacity) 	
<p><u>RETE DI TRASMISSIONE</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Regolazione di frequenza (primaria, secondaria e terziaria) ▪ Nuovi servizi ancillari (es. inerzia sintetica) soprattutto in reti deboli o a bassa inerzia ▪ Differimento degli investimenti ▪ Regolazione di tensione 	<p><u>RETI DI DISTRIBUZIONE</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Disponibilità di potenza (capacity) ▪ Regolazione dei transiti reattivi e di tensione ▪ Power quality ▪ Funzionamento in isola intenzionale in caso di disservizi sulla rete di trasmissione ▪ Risoluzione di congestione di rete ▪ Differimento degli investimenti 	<p><u>UTENTI FINALI (CARICHI)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Continuità di servizio e power quality ▪ Peak shaving e limitazione della potenza contrattuale ▪ Compensazione reattiva ▪ Integrazione di veicoli elettrici ▪ Benefici tariffari

16

F. Bignucolo – Economia a sostenibilità del XXI secolo – Lezione del 22 aprile 2021

Quando considerare un sistema di accumulo?

- L'installazione di un ESS può essere giustificata se:
 - Assicura **maggiore disponibilità, qualità e sicurezza** dell'energia elettrica
 - **Aumenta il valore dell'energia** (rinnovabile)
 - Consente di **fornire servizi obbligatori** richiesti dalla rete in modo meno oneroso rispetto a soluzioni tradizionali, anche tramite un uso più efficiente degli impianti di generazione/trasmissione esistenti (ad esempio, la regolazione primaria di frequenza)
 - Consente di **fornire servizi facoltativi** richiesti dalla rete a fronte di una remunerazione (amministrata, contrattata o di mercato), ad esempio servizi in grado di evitare/rinviare gli investimenti per l'ammodernamento della rete

- In generale, un ESS opportunamente dimensionato è in grado di fornire contestualmente più servizi, quindi il recupero del relativo investimento è potenzialmente in grado di attingere a vari canali di remunerazione tra loro non correlati

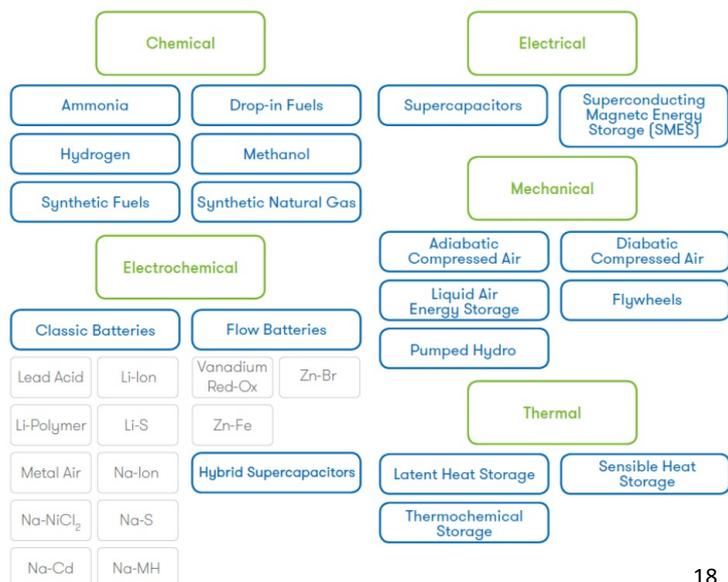
17

17

F. Bignucolo – Economia a sostenibilità del XXI secolo – Lezione del 22 aprile 2021

Inquadramento tecnologico

- In funzione dei diversi servizi erogabili, sono interessanti dal punto di vista tecnologico ed economico **diverse tecnologie di accumulo**
- L'interesse verso alcune tecnologie a discapito di altre è anche fortemente legato ai **soggetti titolati alla realizzazione degli impianti di accumulo**, se amministrati (impianti di taglia anche molto elevata) oppure privati (taglia più modesta per contenere l'impegno finanziario richiesto in considerazione dei fattori di rischio dell'investimento)
- Nella presentazione seguente si riportano sia i **dati attuali** che alcune **proiezioni future** (scenario 2030), particolarmente di interesse per le tecnologie meno mature o che attualmente hanno piccoli volumi di mercato



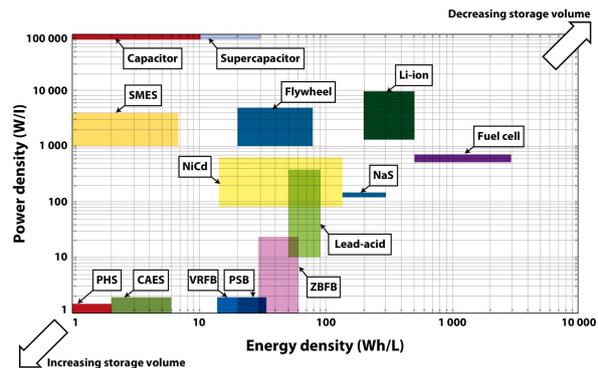
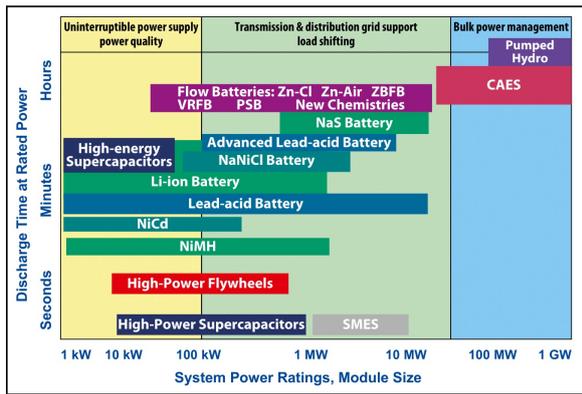
18

18

F. Bignucolo – Economia a sostenibilità del XXI secolo – Lezione del 22 aprile 2021

Come comparare le diverse tecnologie?

- Alcuni parametri caratteristici quali:
 - Taglia (potenza) Vs. Durata di scarica
 - Densità energetica Vs. Densità di potenza
- È possibile vedere come la tecnologia elettrochimica al litio, allo stato attuale, sia in grado di fornire potenza in un range piuttosto esteso (anche superiore a quanto riportato nell'immagine di sinistra) e al contempo abbia il posizionamento più interessante considerando congiuntamente densità energetica e densità di potenza. Il posizionamento della tecnologia litio è molto interessante anche in termini di energia specifica e potenza specifica

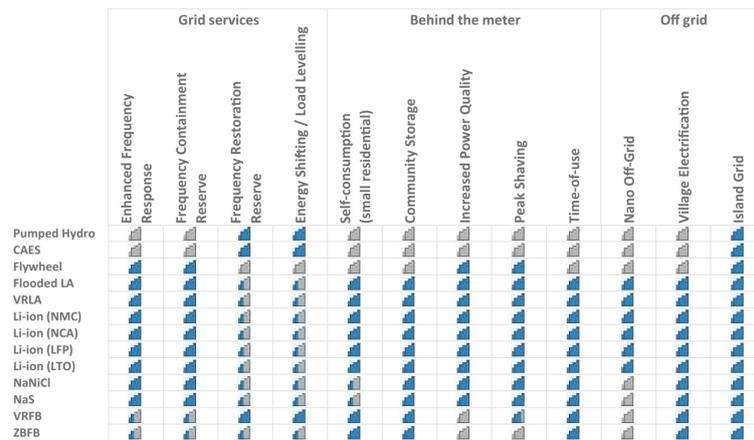


Source: Luo et al., 2015. Note: SMES = superconducting magnetic energy storage; NiCd = nickel cadmium; NaS = sodium sulphur; PHS = pumped hydro storage; CAES = compressed air energy storage; VRFB = vanadium redox flow battery; PSB = polysulfide bromine flow battery; ZBFB = zinc bromine flow battery.

F. Bignucolo – Economia a sostenibilità del XXI secolo – Lezione del 22 aprile 2021

Quale tecnologia è la più adatta?

- In relazione alle caratteristiche salienti delle tecnologie, alcune sono più o meno adatte a fornire i vari servizi che potrebbero essere erogati da un sistema di accumulo (divisi per servizi di rete, servizi agli utenti e applicazioni sconnesse dalla rete)



Source: International Renewable Energy Agency. Note: CAES = compressed air energy storage; LA = lead-acid; VRLA = valve-regulated lead-acid; NMC = nickel manganese cobalt oxide; NCA = nickel cobalt aluminium oxide; LFP = lithium iron phosphate; LTO = lithium titanate; NaNiCl = sodium nickel chloride; NaS = sodium sulphur; VRFB = vanadium redox flow battery; ZBFB = zinc bromine flow battery.

F. Bignucolo – Economia a sostenibilità del XXI secolo – Lezione del 22 aprile 2021

Accumulatori al litio

Sistemi elettrochimici al litio (Lithium-ion batteries)

- Principali **vantaggi**:
 - Alte densità energetica
 - Alta densità di potenza
 - Elevati valori di potenza ammissibile in carica e scarica (C-rate)
 - Elevata efficienza di carica/scarica
 - Sufficiente durata di vita ciclica
 - Bassa autoscarica
- Principali **limiti**:
 - Aspetti legati alla sicurezza (in particolare la stabilità termica, quando elevati valori di potenza transitante comportano il rischio di formazione di ossigeno gassoso, con conseguente emissione di gas e potenziale innesco di incendio)
 - Necessità di un Battery Management System (BMS) per monitorare la batteria e vincolare i range operativi per preservare la sicurezza del dispositivo
 - Smaltimento delle batterie
 - Disponibilità di materiali a supporto di una forte diffusione (considerando anche la concorrenza tra applicazioni di rete e l'elettrificazione dei trasporti)
- In ogni caso, le potenzialità ed i limiti applicativi vanno analizzati per la specificità chimica in quanto le differenze nei materiali utilizzati e nelle geometrie di cella comportano ambiti di utilizzo significativamente diversi

21

21

F. Bignucolo – Economia a sostenibilità del XXI secolo – Lezione del 22 aprile 2021

Accumulatori al litio

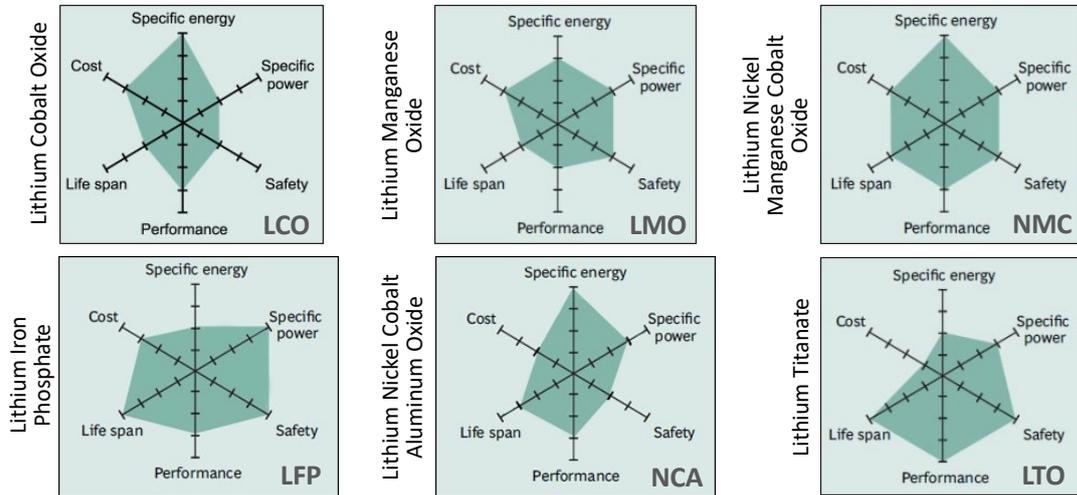
Key active material	lithium nickel manganese cobalt oxide	lithium manganese oxide	lithium nickel cobalt aluminium	lithium iron phosphate	lithium titanate
Technology short name	NMC	LMO	NCA	LFP	LTO
Cathode	$\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_{1-x-y}\text{O}_2$	LiMn_2O_4 (spinel)	LiNiCoAlO_2	LiFePO_4	variable
Anode	C (graphite)	C (graphite)	C (graphite)	C (graphite)	$\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$
Safety					
Power density					
Energy density					
Cell costs advantage					
Lifetime					
BES system performance					
Advantages	-good properties combination -can be tailored for high power or high energy -stable thermal profile -can operate at high voltages	-low cost due to manganese abundance -very good thermal stability -very good power capability	-very good energy and good power capability -good cycle life in newer systems -long storage calendar life	-very good thermal stability -very good cycle life -very good power capability -low costs	-very good thermal stability -long cycle lifetime -high rate discharge capability -no solid electrolyte interphase issues
Disadvantages	-patent issues in some countries	-moderate cycle life insufficient for some applications -low energy performance	-moderate charged state thermal stability which can reduce safety -capacity can fade at temperature 40-70°C	-lower energy density due to lower cell voltage	-high cost of titanium -reduced cell voltage -low energy density

22

22

F. Bignucolo – Economia a sostenibilità del XXI secolo – Lezione del 22 aprile 2021

Accumulatori al litio

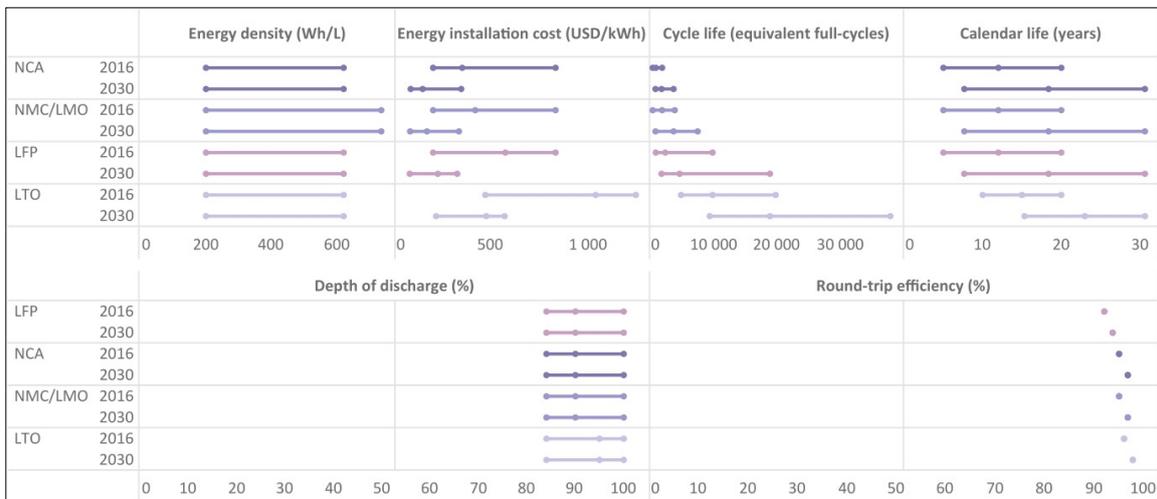


23

23

F. Bignucolo – Economia a sostenibilità del XXI secolo – Lezione del 22 aprile 2021

Accumulatori al litio



24

24

F. Bignucolo – Economia a sostenibilità del XXI secolo – Lezione del 22 aprile 2021

Sintesi tecnologica

- La comparazione tra diverse tecnologie è piuttosto complessa per le diverse specificità e vincoli operativi
- Alcuni elementi di comparazione sono:
 - **Rapporto E/P** al fine di classificare le tecnologie in energy-intensive (E/P ↑) o power-intensive (E/P ↓). Tendenzialmente i servizi energy-intensive sono remunerati in energia [€/kWh], mentre i servizi in potenza possono essere remunerati in potenza [€/kW], in energia [€/kWh] o tramite schemi misti
 - **Densità energetica**, con impatto sugli spazi richiesti a parità di potenza ed energia utilizzabile
 - **Maturità tecnologica e complessità impiantistica**, che si riflette nella capacità di operare in assenza di personale in loco
 - **Taglia minima, impatto ambientale, facilità autorizzativa, tempo di realizzazione**
 - **Costi di installazione e costi di gestione** (manutenzione, autoscarica, presenza di operatori in loco, ecc.), **durata di vita, profondità di scarica ammessa, rendimento di carica/scarica**. Questi parametri si riflettono in termini di costo per la carica/scarica di una unità di energia, [€/kWh_{ciclato}]. È bene sottolineare che la profondità di scarica impatta negativamente sulla durata di vita ciclica dei sistemi di accumulo di natura elettrochimica (in altre parole, la batteria si invecchia meno facendo 2 cicli con DOD 50% piuttosto che facendo un ciclo con DOD 100%)

25

25

F. Bignucolo – Economia a sostenibilità del XXI secolo – Lezione del 22 aprile 2021

Sintesi tecnologica

Type	Technology	Year	Calendar life (years)			Cycle life (equivalent full-cycles)			Depth of discharge (%)			Energy density (Wh/L)		Energy installation cost (USD/kWh)			Power density (W/L)		Round-trip efficiency (%)	Self-discharge (% per day)		
			worst	reference	best	worst	reference	best	worst	reference	best	worst	best	worst	reference	best	worst	best	reference	worst	reference	best
Flow	VRFB	2016	5	12	20	12 000	13 000	14 000	100	100	100	15	70	1 050	347	315	1	2	70.00	1.00	0.15	0.00
		2030	8	19	32	12 000	13 000	14 000	100	100	100	15	70	360	119	108	1	2	78.00	1.00	0.15	0.00
	ZBFB	2016	5	10	20	300	10 000	14 000	100	100	100	20	70	1 680	900	525	1	25	70.00	33.60	15.00	8.00
		2030	8	16	32	300	10 000	14 000	100	100	100	20	70	576	309	180	1	25	78.00	33.60	15.00	8.00
High-temperature	NaNiCl	2016	8	15	22	1 000	3 000	7 500	100	100	100	150	280	488	399	315	150	270	84.00	15.00	5.00	0.05
		2030	12	23	33	1 513	4 538	11 344	100	100	100	150	280	197	161	127	150	270	87.00	15.00	5.00	0.05
	NaS	2016	10	17	25	1 000	5 000	10 000	100	100	100	140	300	735	368	263	120	160	80.00	1.00	0.05	0.05
		2030	14	24	36	1 500	7 500	15 000	100	100	100	140	300	324	162	116	120	160	85.00	1.00	0.05	0.05
Lead-acid	Flooded LA	2016	3	9	15	250	1 500	2 500	60	50	50	50	100	473	147	105	10	700	82.00	0.40	0.25	0.09
		2030	4	13	21	538	3 225	5 375	60	50	50	50	100	237	74	53	10	700	85.00	0.40	0.25	0.09
	VRLA	2016	3	9	15	250	1 500	2 500	60	50	50	50	100	473	263	105	10	700	80.00	0.40	0.25	0.09
		2030	4	13	21	538	3 225	5 375	60	50	50	50	100	237	132	53	10	700	83.00	0.40	0.25	0.09
Li-ion	LFP	2016	5	12	20	1 000	2 500	10 000	84	90	100	200	620	840	578	200	100	10 000	92.00	0.36	0.10	0.09
		2030	8	18	31	1 910	4 774	19 097	84	90	100	200	620	326	224	77	100	10 000	94.00	0.36	0.10	0.09
	LTO	2016	10	15	20	5 000	10 000	20 000	84	95	100	200	620	1 260	1 050	473	100	10 000	96.00	0.36	0.05	0.09
		2030	15	23	31	9 549	19 097	38 194	84	95	100	200	620	574	478	215	100	10 000	98.00	0.36	0.05	0.09
	NCA	2016	5	12	20	500	1 000	2 000	84	90	100	200	620	840	352	200	100	10 000	95.00	0.36	0.20	0.09
		2030	8	18	31	955	1 910	3 819	84	90	100	200	620	347	145	82	100	10 000	97.00	0.36	0.20	0.09
NMC/LMO	2016	5	12	20	500	2 000	4 000	84	90	100	200	735	840	420	200	100	10 000	95.00	0.36	0.10	0.09	
	2030	8	18	31	955	3 819	7 639	84	90	100	200	735	335	167	79	100	10 000	97.00	0.36	0.10	0.09	
Mechanical	CAES	2016	20	50	100	10 000	50 000	100 000	35	40	50	2	6	84	53	2	0	1	60.00	1.00	0.50	0.00
		2030	20	50	100	10 000	50 000	100 000	35	40	50	2	6	71	44	2	0	1	68.00	1.00	0.50	0.00
	Flywheel	2016	15	20	25	100 000	200 000	1 000 000	75	85	90	20	200	6 000	3 000	1 500	5 000	10 000	84.00	100.00	60.00	20.00
		2030	23	30	38	151 259	302 518	1 512 590	75	85	90	20	200	3 917	1 959	979	5 000	10 000	87.00	42.61	39.17	8.52
	PHS	2016	30	60	100	12 000	50 000	100 000	80	90	100	0	2	100	21	5	0	0	80.00	0.02	0.01	0.00
		2030	30	60	100	12 000	50 000	100 000	80	90	100	0	2	100	21	5	0	0	80.00	0.02	0.01	0.00

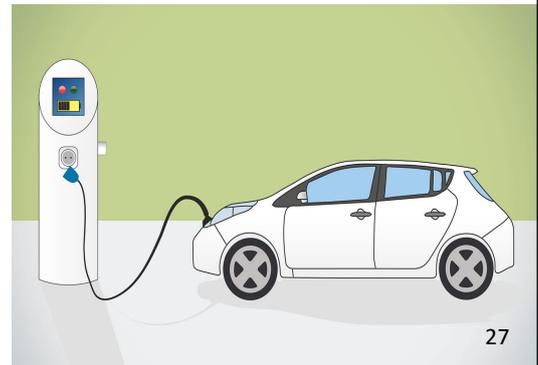
26

26

F. Bignucolo – Economia a sostenibilità del XXI secolo – Lezione del 22 aprile 2021

L'opportunità dell'auto elettrica – V2G

- In un prossimo futuro caratterizzato da una crescente diffusione dell'auto elettrica, anche gli **apparati di ricarica** (colonnine) potranno mettere a disposizione servizi di regolazione agendo in forma aggregata
- L'energia stoccabile, pur se non costantemente messa a disposizione della rete (sarebbe disponibile solo quanto il veicolo è connessione alla colonnina di ricarica), potrebbe essere piuttosto elevata e confrontabile con la taglia di impianti utility-scale
 - Si considera una diffusione di **auto elettriche** pari al 10% del parco circolante (44 milioni di autovetture)
 - Si considera una autonomia media di 300 km (circa 50 kWh)
 - Si considera che il 10% della auto siano **connesse** ad una colonnina di ricarica
 - Si ottiene una capacità nominale di 22 GWh, di cui può esserne utilizzata una parte (permane il vincolo di mantenere una soglia minima di autonomia residua)
 - Le auto elettriche saranno dotate di batterie in grado di erogare ingenti quantità di **potenza (necessità di trazione)**, ovvero nel campo dei servizi tipicamente power-intensive
 - Ciò si conferma sia nelle schede tecniche dei primi mezzi full-electric disponibili sul mercato che nei recenti studi sulla **ricarica rapida**



27