



UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Avviso 1735 del 13.07.2017 MIUR

Progetti di Ricerca Industriale e Sviluppo Sperimentale nelle 12 Aree di Specializzazione individuate dal PNR 2015-2020

Sistema di accumulo basato su supercapacitori: realizzazione prototipo, integrazione convertitore di potenza e logiche di gestione e controllo

Rapporto Tecnico di accompagnamento D2.2d



Community Energy Storage
Gestione Aggregata di Sistemi d'Accumulo dell'Energia in Power Cloud



Sistema di accumulo basato su supercapacitori: realizzazione prototipo, integrazione convertitore di potenza e logiche di gestione e controllo
Software – D2.2d

Avviso	Avviso 1735 del 13.07.2017 MIUR
Codice progetto	ARS01_01259
Nome del progetto	Community Energy Storage Gestione Aggregata di Sistemi di Accumulo dell'Energia in Power Cloud
Acronimo	ComESto
Documento	D2.2d
Tipologia	Software
Data di Rilascio	05/09/2021
Obiettivo Realizzativo	OR2
Attività Realizzativa	A2.2
Soggetti Beneficiari Proponenti	OCIMA, UNICAL
Elaborato (Nome, Cognome – Soggetto Beneficiario)	Eugenio Saraceno – OCIMA
Verificato (Nome, Cognome – Soggetto Beneficiario)	Eugenio Saraceno – OCIMA Tommaso Fera – OCIMA
Approvato (Nome, Cognome – Soggetto Beneficiario)	Membri del PEB



Indice

EXECUTIVE SUMMARY	5
1.DESCRIZIONE.....	5
2.MODULO ACCUMULATORE SUPERCAPACITIVO.....	6
3.CONVERTITTORE DC/DC.....	8
4.SCHEMA HW DEL CONVERTITTORE	10
5.MACCHINA A STATI CONVERTITTORE DAB.....	10
6.SCHEDA DI CONTROLLO E INTERFACCIA CAN.....	13
7.STRATEGIE DI CONTROLLO DEL CONVERTITTORE DC/DC.....	17
8.SCAMBIO DI DATI	23
9.SCAMBIO DI DATI TRA SCHEDA CONTROLLO E DAB.....	37
10. VALIDAZIONE	40

Indice delle figure

Figura 1. Configurazione indicativa della nanogrid.....	6
Figura 2. Modello equivalente del supercondensatore.....	7
Figura 3. Schema di massima del convertitore DC/DC e della sua interfaccia.....	10
Figura 4. Automa a stati finiti convertitore DAB.....	11
Figura 5. Diagramma di flusso della scheda di interfaccia.....	16
Figura 6. Isteresi.....	18
Figura 7. Logica DBS decentralizzata.....	19
Figura 8. Logica DBS in modalità decentralizzata.....	21
Figura 9. Modalità centralizzata.....	22
Figura 10. Modalità dontcare.....	23

EXECUTIVE SUMMARY

Il presente documento descrive in dettaglio la progettazione e realizzazione di un sistema di accumulo energetico basato su supercapacitori. L'accumulatore a bassa tensione (60V) è provvisto di un convertitore DC/DC che consente di riportare la tensione e la corrente ai valori richiesti per l'interfacciamento con la nanogrid (350-450V). Il convertitore, a sua volta, è controllato da una logica programmabile in grado di intraprendere autonomamente delle scelte (in sostanza se ricaricarsi o erogare corrente) sulla base di condizioni rilevate sul BUS DC di una Nanogrid oppure eseguire un'azione di erogazione di corrente da o verso la nanogrid su esplicito comando di un Gestore. A tal scopo il sistema è dotato di un'interfaccia di comunicazione CAN BUS mediante la quale il Gestore del sistema può impartire i comandi o configurare delle soglie di tensione o corrente per determinare il comportamento dell'algoritmo di controllo autonomo. Tramite la stessa interfaccia di comunicazione il Gestore riceve le letture in tempo reale dei parametri di sistema ed eventuali allarmi di malfunzionamento.

1. DESCRIZIONE

Nell'ambito di ComESto, acronimo di Community di Energy Storage, progetto finanziato con capofila e-distribuzione e numerosi partner industriali ed accademici si prevede la realizzazione di nanogrid, nelle quali diversi tipi di generatori di energia e sistemi di accumulo sono al servizio di vari tipi di carico. Ciascuna nanogrid è connessa ad una rete in continua (DC Bus) a sua volta connessa alla rete di distribuzione elettrica attraverso un inverter. La strategia di controllo consiste nel minimizzare l'utilizzo della rete di distribuzione. In tale contesto OCIMA si occupa della realizzazione di una nanogrid basata sulla tecnologia di accumulo dei supercondensatori. Lo stack di supercapacitori sarà utilizzato come dispositivo di accumulo e l'interfacciamento con il DCBus avviene mediante un convertitore DC/DC. Inoltre, è prevista un'interfaccia di comunicazione con il gestore delle nanogrid. Questi sono i tre componenti principali del sistema in fase di realizzazione.

La Figura 1 mostra una configurazione indicativa delle nanogrid oggetto del progetto Comesto.

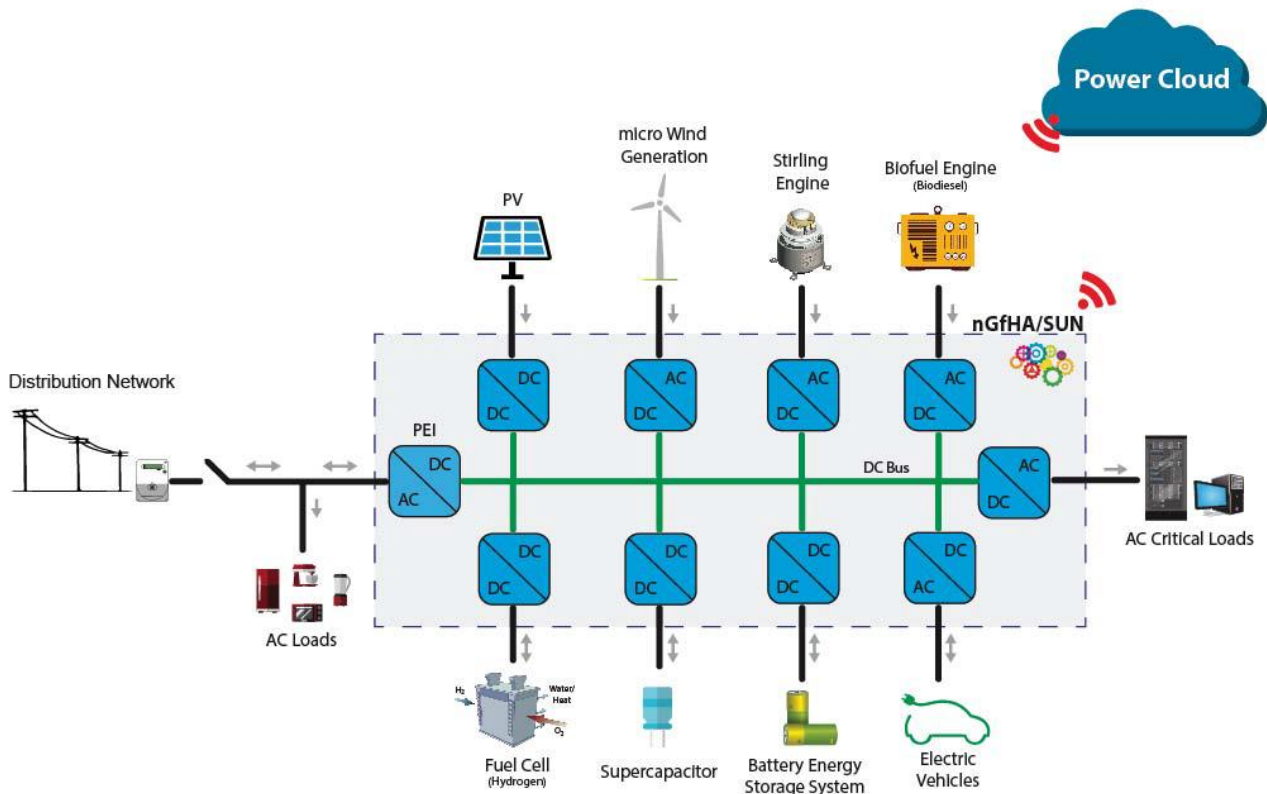


Figura 1. Configurazione indicativa della nanogrid.

2. MODULO ACCUMULATORE SUPERCAPACITIVO

Il supercapacitore reale può essere modellato come un condensatore ideale di capacità C (tipicamente da pochi F fino a migliaia di F) con una resistenza R_i in parallelo ed una resistenza R_s in serie.

La resistenza R_i o leakage, dovuta ai difetti di isolamento inevitabili nella fabbricazione è generalmente molto grande (1000-10000 ohm), cosicché il tempo di autoscarica è molto lungo (giorni o settimane).

La resistenza serie R_s è molto piccola (decine di milliohm), comportando una caduta di tensione ridotta ai morsetti (rispetto alla tensione ideale di targa, usualmente 2.7, 2.85 V o 3V) e un surriscaldamento limitato quando avvengono cariche e scariche molto intense.

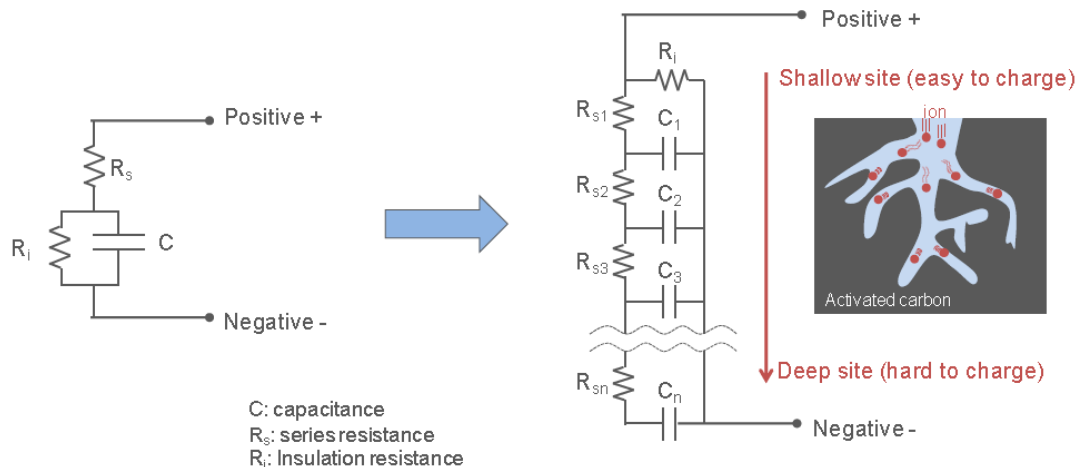


Figura 2. Modello equivalente del supercondensatore.

Nello schema di figura 2, relativo ad un prodotto indicativo della MURATA, si può notare lo schema semplificato già descritto (a destra) ed un modello più dettagliato in cui il condensatore ideale, tenendo conto dell'architettura di fabbricazione, è meglio approssimato da una rete in cui la capacità è ripartita tra un certo numero di condensatori in parallelo e la resistenza serie è ugualmente ripartita.

Nello schema si nota l'assenza di generatori o altri elementi attivi che possano produrre una tensione residua. L'esperienza pratica suggerisce che i condensatori si possano scaricare completamente risultando, in effetti, equivalenti ad un corto circuito (vista la bassissima R_s).

Nell'ambito delle attività di ricerca oggetto del progetto ComESTo, si prevede l'utilizzo di moduli costituiti da supercapacitori aventi $C=3000$ F, R_i dell'ordine dei 1000 ohm (minimo) e R_s dell'ordine dei 10 milliohm.

Le tensioni e capacità desiderate saranno ottenute ponendo opportunamente in serie e/o parallelo un cospicuo numero di celle connettendole poi al convertitore DC/DC e utilizzando un sistema di gestione della carica/scarica.

Successivamente, a seguito della conclusione della parte di ricerca sperimentale (non trattata nel presente documento), saranno disponibili prototipi di supercondensatori innovativi, basati su materiali graphene-like e/o dotati di soluzioni elettrochimiche ed elettrodi che consentono di ottimizzare le performance rispetto ai prodotti disponibili sul mercato. Si prevede di utilizzare tali prototipi per realizzare un modulo da 64V, da impiegare nel sistema di accumulo al posto dei prodotti commerciali. Si eseguiranno test per evidenziare le eventuali differenze di comportamento, tenendo conto che la capacità del modulo prototipale sarà molto inferiore a quella realizzata con prodotti commerciali.

A seguito di analisi e simulazioni, il gruppo di lavoro di Unical, partner che ha la responsabilità scientifica del progetto, ha individuato come funzionalità principale richiesta all'accumulo basato su supercapacitori quella di fornire potenza impulsiva per compensare i tempi di intervento più lenti di

altri tipi di accumulatori/generatori presenti nel sistema complessivo. Il dimensionamento avviene, pertanto, in base alla richiesta di fornire 3 kW per 8-10 min, dunque 3000 W per 540 secondi, ovvero 450 Wh. Ammettendo che il convertitore dedicato consenta la dinamica dei moduli di supercondensatori nell'intervallo 36V-64V (n.b. 64V tensione nominale del modulo), tale energia corrisponde a circa $\frac{3}{4}$ della capacità effettiva dello stack. Dunque, la capacità minima dello stack dovrà essere teoricamente di 600 Wh. Si prevede pertanto che sarà costituito da una decina di moduli da 64V e 71 Wh cadauno, collegati in parallelo all'ingresso del DC/DC converter.

Per quanto riguarda le correnti, richiamando la dinamica 64-36V sopra citata, si ottiene che dallo stack complessivo saranno richiesti dai 45 ai 95 A, supponendo che lo stack, quando completamente carico, sia in grado di fornire una potenza media pari a 3 kW per 9 min, raggiungendo così il limite inferiore di tensione di 32V. NB. I calcoli presentati non tengono conto dell'efficienza del convertitore DC/DC. Che sarà nota a seguito di caratterizzazioni. Pertanto, l'accumulo è stato preventivamente sovradimensionato del 17% circa (710 wh alla tensione nominale di 64V)

3. CONVERTITORE DC/DC

Come mostrato in Figura 1, i sistemi di accumulo si interfacciano ad un DC-Bus mediante convertitori DC/DC dedicati. Le specifiche fornite dal partner Unical per questo tipo di apparato sono le seguenti:

- o isolamento galvanico;
- o tensione lato dc-bus nel range 350V-450V;
- o interfaccia di comunicazione digitale (CAN);
- o Ingresso analogico per acquisire il riferimento del controllo di corrente (vedi mod.

Centralizzata);

- o gestione di 4 modalità funzionamento: decentralizzata (master/slave), centralizzata, libera (dontcare) ed idle (i.e., la potenza trasmessa nulla).
- o L'alimentazione del convertitore avverrà dal dcbus,

A tal riguardo OCIMA ha individuato la tipologia di convertitore Dual Active Bridge (DAB). Per ragioni di opportunità commerciale e possibili sviluppi di prodotti modulari e standardizzati si è deciso di incorporare dal DAB la funzionalità di comunicazione CAN, demandandola ad una scheda esterna dotata di interfaccia CANOpen in modalità slave (lato supervisore). Il microcontrollore presente nella scheda di interfaccia potrà gestire la macchina a stati del DAB pilotandolo via seriale con il protocollo Modbus RTU come sarà descritto nel capitolo successivo.

La gestione delle transizioni tra modalità di funzionamento diverse, tenendo conto dello sdoppiamento del sistema in DAB e interfaccia, che presuppone la presenza di una comunicazione interna tra i due, avviene in due modi:

- 1) Quando il dispositivo di accumulo è non operativo (modalità IDLE) il gestore della nanogrid (supervisore) potrà impostare via CAN una delle 4 modalità di funzionamento e le sue eventuali informazioni accessorie (soglie, isteresi etc.), affinché alla successiva richiesta di attivare l'accumulo

(sempre via CAN) da parte del gestore della nanogrid, il DAB inizi a funzionare nella modalità preimpostata.

2) Quando il dispositivo di conversione/accumulo è operativo il gestore della nanogrid potrà direttamente modificare la modalità di funzionamento richiedendo via CAN il ritorno in modalità IDLE (di fatto rendendolo non operativo ed abilitando le operazioni di preimpostazione descritte in 1). Durante la fase operativa in modalità decentralizzata potranno, inoltre, avvenire le seguenti transizioni automatiche di modalità:

a) Dalla modalità Master Decentralizzato (in assorbimento o iniezione) il DAB potrà automaticamente commutare in Slave Decentralizzato di tipo H, C o L in base alle soglie ed isteresi preimpostate dal gestore. Inoltre, potrà automaticamente effettuare un derating in caso di fault o altre criticità quali insufficiente o eccessivo SOC.

a) Dalla modalità Slave Decentralizzato, il DAB potrà automaticamente commutare in Master Decentralizzato in base alle soglie ed isteresi preimpostate dal gestore. Inoltre, potrà automaticamente effettuare un derating in caso di fault o altre criticità quali insufficiente o eccessivo SOC.

b) Dalla modalità Centralizzata, il DAB potrà automaticamente effettuare un derating in caso di fault o altre criticità quali insufficiente o eccessivo SOC.

c) Dalla modalità don't care, il DAB potrà automaticamente effettuare un derating in caso di fault o altre criticità quali insufficiente o eccessivo SOC.

4. SCHEMA HW DEL CONVERTITORE

I convertitori DAB bidirezionali sono caratterizzati da un doppio ponte. In figura è mostrata una soluzione architettonica di tipo DAB. Per la descrizione dettagliata dell'hardware DAB si rimanda al documento Deliverable Relazione su Convertitore DAB DC-DC di potenza bidirezionale

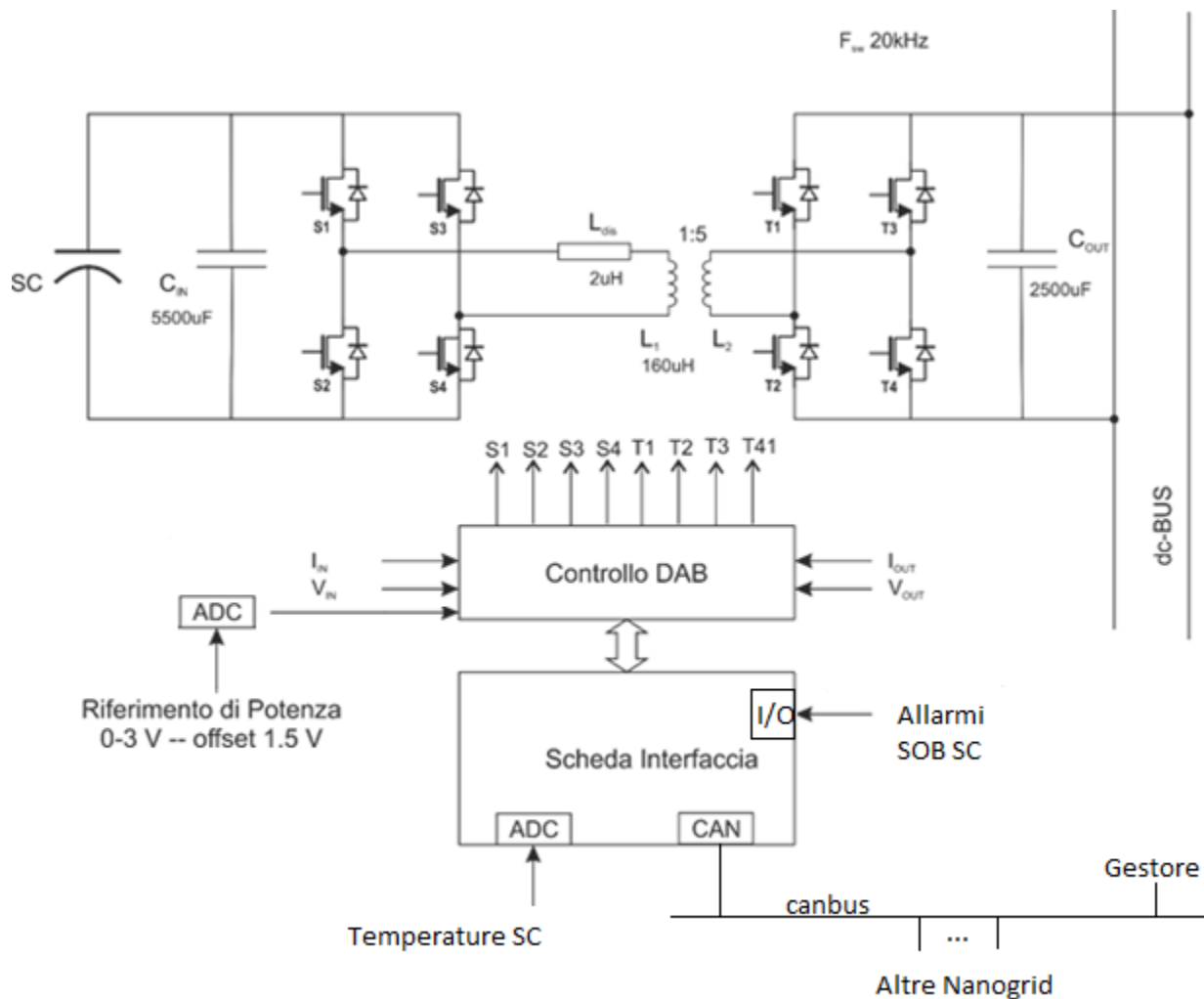


Figura 3. Schema di massima del convertitore DC/DC e della sua interfaccia.

5. MACCHINA A STATI CONVERTITORE DAB

Nella figura seguente è mostrata la macchina a stati che descrive il comportamento del convertitore DAB PSFB_3300W_BID della Infineon

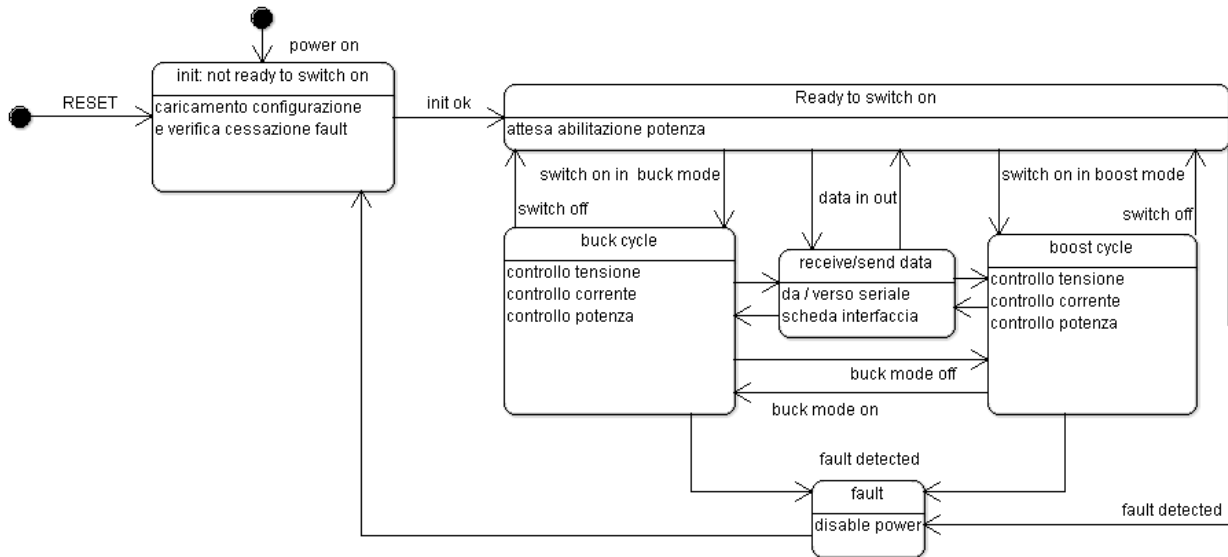


Figura 4. Automa a stati finiti convertitore DAB.

La Tabella 1 descrive la funzione dei singoli stati:

STATO	AZIONE
Init Not Ready To Switch On	Inizializzazione sistema (Configurazione periferiche, inizializzazione FSM principale, lettura configurazione parametri), Check dei fault Hardware
Ready to switch on	In questo stato il convertitore è pronto per le operazioni di potenza ed attende la relativa abilitazione
Data in/out	Questo stato è attivato da un timer e controlla se sono arrivati dei comandi via seriale. Esecuzione dei comandi, in particolare, qualora siano pervenuti comandi di lettura, provvede ad inviare i valori richiesti via seriale
Buck cycle	Le operazioni di trasferimento potenza avvengono in direzione alta tensione->bassa tensione inseguendo una tensione obiettivo configurata dall'utente. La potenza massima ammissibile è 3kW, qualora non sia possibile raggiungere o mantenere l'obiettivo per supero limiti potenza l'obiettivo viene ridotto
Boost cycle	Le operazioni di trasferimento potenza avvengono in direzione bassa tensione->alta tensione inseguendo una tensione obiettivo di 405V. La potenza massima ammissibile è 3kW, qualora non sia possibile raggiungere o mantenere l'obiettivo per supero limiti potenza il dispositivo va in protezione per sovracorrenti o deriva termica
fault	La potenza viene disabilitata e lo stato del convertitore viene aggiornato con i flag relativi al fault rilevato. Si torna automaticamente allo stato Init Not Ready to switch on

La Tabella 2 descrive le transizioni di stato

Transizione	Trigger	Descrizione
Power on o reset	Switch fisico on/off	Una volta completata l'inizializzazione, il uC esegue il caricamento. Poi passa automaticamente allo stato NOT READY TO SWITCH ON (INIT).
Init ok	Transazione Automatica (TA)	Le condizioni di inizializzazione sono soddisfatte e non sono presenti fault
Switch on boost mode	Flag ENABLE POWER on e Falg buck/boost off	E' abilitato il trasferimento di potenza in boost mode
Switch on buck mode	Flag ENABLE POWER on e Falg buck/boost on	E' abilitato il trasferimento di potenza in buck mode
Data in/out	TA	Timer di lettura porta seriale scaduto
Buck mode off	Falg buck/boost viene posto ad off dall'utente	Transizione allo stato di Soft Start, questa transizione prevede di precaricare i supercap qualora fossero scarichi sotto una certa soglia (nuova soglia configurabile da gestore o valore di default legato ad un livello minimo sotto il quale si è undervoltage ovvero 36V)
Buck mode on	Falg buck/boost viene posto ad on dall'utente	La tensione minima dei supercondensatori per le operazioni di potenza è soddisfatta (no undervoltage). Se la condizione di undervoltage è presente è indicata dal bit undervoltage della status word.
Fault detected	TA	Una condizione di fault è stata rilevata (sovracorrente, overvoltage, undervoltage, temperatura etc.)

6. SCHEDA DI CONTROLLO E INTERFACCIA CAN

La scheda di controllo implementa le logiche di controllo ed attiva le modalità di funzionamento DAB conseguenti. La scheda ha una interfaccia CAN Open per la comunicazione con il Gestore della nanogrid.

Di seguito si elencano le specifiche relative alla comunicazione CAN tra un nodo di accumulo ed il microcontrollore di gestione delle nanogrid

- Il bitrate in uso è di 125 kbps
- Sono integrabili sulla linea transceiver sia a 3.3 V che a 5 V (isolati).
- il nodo master nella rete sarà il microcontrollore che gestirà le nanogrid (Gestore), con node-id 0x3f attualmente, gli accumuli saranno numerati progressivamente con la possibilità che sia necessario più di un node-id per accumulo (nel caso attuale con BMS basato su CANOpen il BMS ha id 0x01 ma gli NMT devono essere inviati al nodo 0x00 che è il NMT-Master)
- Il nodo di accumulo non ha la responsabilità di alimentare direttamente il database che registra le informazioni dei sistemi di accumulo presenti nella nanogrid
- Ogni sistema di accumulo utilizza CANOpen.
- per quanto riguarda il contenuto dei messaggi, negli 8 bytes di un singolo messaggio RxPDO saranno inserite diverse grandezze per risparmiare banda.
- il riferimento analogico della specifica relativa al modo di controllo centralizzato non potrà essere inviato anche in formato digitale via CANOpen.
- definizione di tutte le grandezze collezionabili, riportata nel cap.5;

Di seguito la proposta di implementazione delle specifiche sopra elencate, condivisa e concordata con UniCAL e gli altri soggetti.

Per semplificare l'attività dei soggetti che svilupperanno un proprio HW di interfaccia con il microcontrollore di gestione e del microcontrollore stesso prevediamo di implementare un nodo CANOpen slave che risponde ad un sottoinsieme delle specifiche relative a questo protocollo:

- gestione dei soli SDO expedited upload transfer che consentono ad un master di modificare un parametro read/write int (a 8, 16 o 32) su un nodo slave (REQ). Lo slave risponde con un messaggio RES che conferma se l'impostazione del parametro è avvenuta con successo o meno. Data la presenza di campionamenti a 12 bit si assume che i parametri relativi a soglie e delta saranno scambiati come int16. ATTENZIONE in tale contesto ricordarsi di impostare il DLC del frame CAN a 6 e non a 8 come se si inviassero un int32!
- sono previsti 34 SDO con codici unici per impostare le 6 soglie di tensione, i 10 riferimenti di corrente, i 12 riferimenti di SOC, i due livelli di isteresi (inf e sup), i due livelli di potenza max e min in modalità centralizzata e la modalità di funzionamento (MASTER/SLAVE/IDLE/DONTCARE).
- per ogni parametro, sia read only che read/write è previsto l'invio allo slave di un SDO di lettura che restituisce al CAN master il valore attualmente impostato per il parametro

-le operazioni di ricezione dei SDO di impostazione sono ammissibili solamente mentre lo slave è non operativo in quanto la modifica di una singola soglia a caldo potrebbe provocare anomalie ed interferenze. I SDO di lettura, al contrario, sono sempre disponibili

- il node-id di uno slave è predefinito ed assegnato da UniCAL, non è previsto riconfigurare il node id via SDO
- i PDO slave (fino a 8 TPDO, quindi fino a 32 parametri int16) sono predefiniti, non è previsto modificare il mapping dei parametri via SDO
- non sono previsti PDO master (RPDO)
- è previsto l'invio da master di un messaggio NMT OPER rivolto ad un nodo od all'intera rete (Broadcast) per imporre l'avvio (cod.funzione 0x1) o la cessazione (cod.funzione 0x80) delle operazioni di potenza del nodo(i) coerentemente con le soglie e le modalità preconfigurate o modificate mediante SDO in modalità pre-operazionale. Per evitare situazioni anomale e potenzialmente dannose le soglie e le modalità preimpostabili prima di andare in operazione dovranno avere dei default che potranno essere modificati solamente se le nuove impostazioni saranno ammissibili (vedi condizioni e vincoli di impostazione riportati nel paragrafo descrittivo dei SDO). Qualora si tentasse di iniziare le operazioni di potenza con parametri erronei o non coerenti con i vincoli verranno ripristinati i default o i valori precedentemente impostati prima di andare in operazione.

ATTENZIONE, per evitare errori su valori ammissibili soglie prima che siano tutte impostate è prevista una procedura lato gestore per impostarle in un ordine predefinito.

In ogni caso a livello di interfaccia verrà effettuato un controllo prima di dare potenza

Anche le differenze tra una soglia e l'altra devono rispettare una distanza minima che perlomeno è maggiore dell'isteresi.

- è previsto un messaggio RTR inviato da master ad un nodo o in broadcast a tutta la rete. Se un nodo riceve tale messaggio dovrà inviare immediatamente i propri TPDO corredati di node id e opportunamente valorizzati con i più recenti dati di funzionamento definiti dai parametri mappati e concordati. RTR è anche utilizzato come heartbeat bidirezionale, cioè gli slave operativi possono dedurre che il gestore ha cessato di funzionare se non ricevono RTR dopo un certo timeout (configurabile) ed in tal caso uscire dalla modalità operativa fino a ripristino del RTR. A sua volta il gestore può dedurre che un nodo ha smesso di funzionare se a seguito di invio RTR non riceve PDO di risposta dal nodo dopo un determinato timeout.

- Per modificare le condizioni operative di uno slave (es. reset o stop) si utilizza sempre il messaggio NMT OPER con il codice funzione opportuno quindi lo slave entra in modalità IDLE ed accetta SDO.

Come già accennato il convertitore DAB non espone l'interfaccia CAN richiesta dalle specifiche; pertanto, si realizzerà una scheda con microcontrollore, tranceiver CAN isolato 5V, seriale ed alcuni ingressi analogici (12?) sarà preferita l'architettura STM32F4 (scheda discovery).

Il firmware implementerà la macchina a stati definita dalla specifica CANOpen ristretta descritta al paragrafo riguardante lo scambio dati e comunicherà via seriale con il convertitore DAB utilizzando il protocollo seriale proprietario di Infineon.

La tra i parametri inviati in scrittura al DAB vi sono i valori delle soglie impostate dal gestore (ma solo mentre il DAB è idle), alcuni registri di stato delle schede interfaccia ed almeno una control word che consente di richiedere l'esecuzione dei seguenti comandi

- preimpostare DAB in modalità MASTER/SLAVE (decentralizzata a logica DBS) usando le soglie definite e le isteresi impostate
- preimpostare DAB in modalità CENTRALIZED (controllo in potenza) usando il riferimento analogico fornito dal gestore della nanogrid che verrà acquisito direttamente dal DAB
- preimpostare DAB in modalità IDLE. In tale modalità si è in standby, coincide con il pre-operazionale ovvero switched on disabled, in caso di DAB impostato in modalità IDLE l'eventuale arrivo del NMT OPER non sortirà nessun effetto in quanto, per vincolo di progetto, durante l'impostazione dei parametri si è già in standby mentre non è ammissibile variare la modalità mentre si è in operazione.
- preimpostare DAB in modalità dontcare. In tale modalità il DAB insegue un riferimento di corrente fornito via modbus
- portare DAB in stato operativo. In tale modalità il convertitore inizia a funzionare secondo la modalità preimpostata, a meno che questa non sia impostata a IDLE, nel qual caso ignora il comando
- portare DAB in stato non operativo, il convertitore viene arrestato e deve transitare in modalità switched on disabled, a meno che non lo sia già.

-Derating:

E' prevedibile una situazione di sovraccarico del DAB o dei SC (in qualunque modalità operativa) per cui il converter effettua un derating; può quindi effettuare un derating automatico, ad esempio sta erogando/assorbendo P_0 e si verifica un sovraccarico per cui il converter modifica in autonomia la potenza ($P_{new}=P_0 \pm \Delta$) in automatico e segnala sia la situazione di derating e sia l'entità (Δ), che può essere espresso anche in %.

-Raggiungimento/Incompatibilità di SOC:

Durante il funzionamento, in qualunque modalità, può accadere che il limite di SOC venga raggiunto, in questo caso viene segnalato il raggiungimento azzerando l'azione di controllo ("derating 100%") e può essere gestito come nel caso precedente.

Nel caso in cui tra il passaggio di modalità ci si ritrovi un SOC incompatibile, ad esempio $SOC_{min}=50$ e $SOC_{attuale}=40$ allora se l'azione di controllo va nello stesso verso dell'incompatibilità allora ricadiamo nel caso precedente. Viceversa, se l'azione di controllo va nel segno opposto dell'incompatibilità allora questa è consentita (il vincolo non si attiva).

Nella figura seguente è riportato il diagramma di flusso della scheda di interfaccia

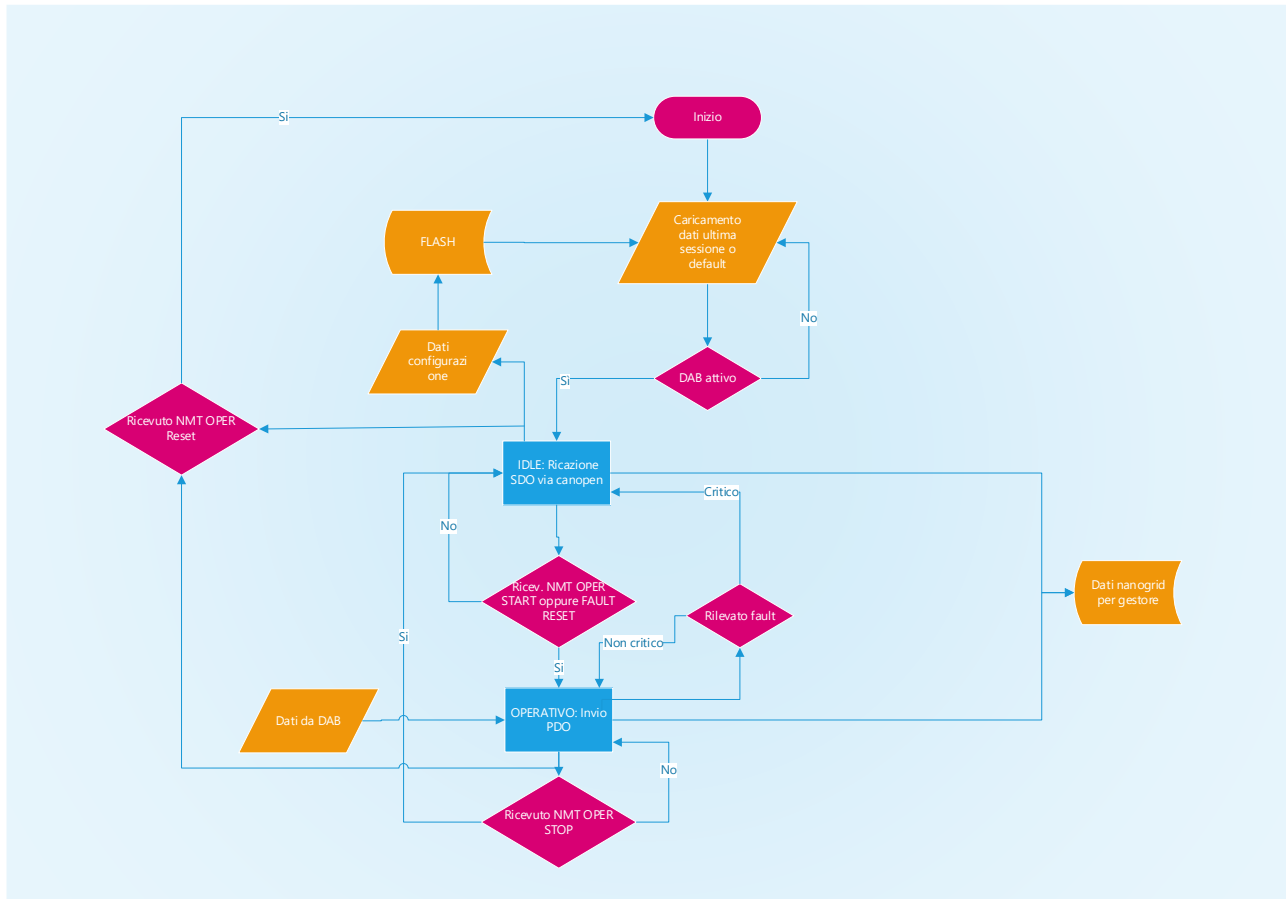


Figura 5. Diagramma di flusso della scheda di interfaccia

Nello stato init avviene lettura soglie o default preimpostati nella memoria flash della discovery mediante comando RW di tutti i parametri solitamente in scrittura tranne control word e stati. Una volta popolata la memoria con i dati di ultima sessione si attiva la ricezione sdo e la scrittura delle soglie modificate eventualmente dal gestore nella memoria flash.

Si legge ciclicamente la memoria DAB e si scrive la control word e gli stati. I valori così collezionati vengono scritti nei PDO ed inviati al gestore quando richiede il RTR.

La gestione del fault avverrà secondo le seguenti specifiche:

FAULT DAB

- fault critico per cui il DAB non è in grado di funzionare per anomalie o avarie. In tal caso si passerà in modalità pre-operazionale (idle). Tale di insorgenza o possibili cause, possibili contromisure situazione verrà notificata alla nanogrid mediante apposito messaggio EMCY ed esplicitata nella status word di sistema
- fault non critico per cui il DAB è in grado di funzionare ma a potenza ridotta (es. rilevato trend di surriscaldamento o superate soglie SOC) In tal caso il DAB andrà in derating. Tale situazione verrà

notificata alla nanogrid esplicitandola nella status word di sistema (bit derating on e % derating applicata).

- quando il problema dovesse rientrare il DAB torna autonomamente nella modalità ready to switch on, ovviamente segnalandolo nella status word alla sua interfaccia che provvede a notificarlo al gestore della nanogrid

FAULT SCHEDA INTERFACCIA

- fault comunicazione est. (es. non si riceve più i RTR) il dab viene impostato in modalità IDLE.
- fault di comunicazione int. (es non si comunica più con DAB) è assimilabile ad un fault critico in quanto non si conosce lo stato del dab, si invia EMCY e si torna in stato pre-operazionale.
- fault di overvoltage dei supercapacitori: si effettua derating per consentire solo la scarica
- fault di overtemperature dei supercapacitori: assimilabile ad un fault non critico di DAB si va in modalità derating per ridurre le potenze.

Nei casi in cui il fault richiede lo spegnimento della potenza (passaggio in IDLE), ad es. nel caso di perdita della comunicazione CAN, la scheda d'interfaccia imposta il parametro modalità a IDLE e spegne il DAB.

7. STRATEGIE DI CONTROLLO DEL CONVERTITORE DC/DC

Sono state definite quattro modalità di funzionamento: decentralizzata a logica DBS (master/slave), centralizzata, più una modalità libera (dontcare) ed una modalità idle in cui la potenza è disconnessa. La modalità di funzionamento viene impostata tramite comunicazione come già specificato nel paragrafo DC/DC converter.

MODALITÀ IDLE

In questa modalità la potenza è disconnessa, ovvero il DAB si trova nello stato Switched ON disabled ma la scheda di interfaccia CAN è regolarmente in funzione, in particolare è attiva la ricezione dei messaggi SDO per la lettura o modifica dei parametri e del messaggio NMT OPER per commutare ad altre modalità di controllo.

MODALITÀ DECENTRALIZZATA A LOGICA DBS

In questa modalità, specifiche soglie di tensione definiscono la funzionalità Master o Slave all'interno del range operativo della NanoGrid (350 V - 450 V); il passaggio tra la funzionalità Master e Slave è definito esclusivamente dal confronto tra il valore di tensione del bus DC e le soglie di riferimento e deve avvenire in maniera autonoma (no-comunicazione). Inoltre, intorno ai valori delle soglie, sono definiti livelli di isteresi configurabili e asimmetrici per favorire le azioni di controllo. Dal punto di vista elettrotecnico si possono adottare le definizioni seguenti.

Definizione di Master:

In modalità master si ha un loop di controllo di tensione del DCbus.

Ci sono 2 casi in cui si è master:

1 modalità assorbimento - Quando la tensione del DCbus si trova nell'intorno di una tensione di riferimento V_{ref_ads} all'interno di un range di 2 soglie (definito con un valore di offset con isteresi asimmetrica). In questo caso il DAB master assorbe energia dal DCbus (che corrisponde sempre ad immagazzinare energia nei supercap). Quando si scende sotto V_{ref} si limita la corrente nei s.cap. Si utilizza un controllo PID per rafforzare il raggiungimento dell'obiettivo. Se la tensione sale al di sopra di V_{ref} si continua a caricare i supercap monitorando la tensione su V DCbus. Se V DCbus sale al di sopra della soglia superiore abs_H si esce dalla modalità master diventando slave. Se, dopo aver limitato la corrente, la tensione su DCbus non risale sopra V_{ref} si limita ancora. Fino a zero. Continuo a monitorare Vbus. Se Vbus scende sotto abs_L divento Slave. Se Vbus scende al di sotto di $V_{ref}2$ ridivento master ma in

2 modalità Injection - Prevede apporto di energia al DCbus con l'obiettivo di rimanere nell'intorno di V_{ref_inj} . Cioè, si fornisce energia per tenere V DCbus al di sopra di V_{ref} . Ovviamente se V DCbus sale si riduce l'energia fornita fino a che, se si supera la soglia superiore inj_H , si ritorna Slave. Se V DCbus scende si fornisce più energia fino scendere sotto al punto di soglia inj_L dove si ritorna in modalità slave.

Definizione di Slave:

In modalità master si ha un loop di controllo in corrente all'interno di un range di 2 soglie di tensione (definito con un valore di offset con isteresi asimmetrica).

La figura 6 mostra il principio di controllo a logica DBS decentralizzata basato su soglie con isteresi superiori (lockout – graficata in rosa) ed inferiori (lockin – graficata in giallo) eventualmente asimmetriche per il quale, al variare della V_{dc_bus} il convertitore deve lavorare come master nell'intorno della sua V_{ref} di riferimento all'interno della zona grigia e abbandonare la modalità master (che sarà assunta da un altro dispositivo) quando la tensione del DC bus esce da essa, il che vale a dire che il dispositivo si pone in modalità slave decentralizzato, come meglio specificato in seguito.

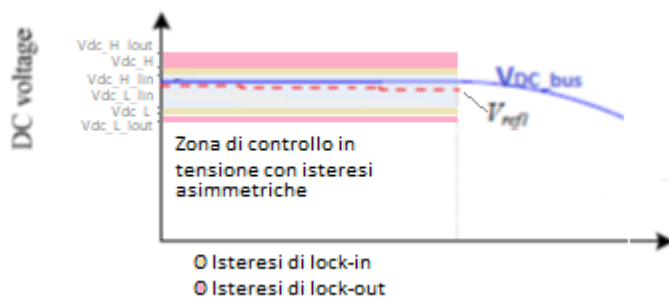


Figura 6. Isteresi

La Figura 7 mostra le diverse modalità in funzione dei livelli di tensione del bus DC (V_{dc_BUS}) prevista per la nanogrid supercondensatori. Per maggiore chiarezza grafica le isteresi esistenti attorno ai riferimenti di tipo H o L non sono mostrate. Vi sono due aree proibite, oltre V_{dc_max} e sotto V_{dc_min} (in rosa) in tali zone il convertitore non deve dare né assorbire potenza. Nelle zone bianche il convertitore si comporta da slave, inseguendo un riferimento di corrente configurato, nelle zone azzurre si comporta da master, inseguendo una V_{ref} data ed iniettando o assorbendo potenza, in base alla zona di funzionamento definita. Le zone grigie possono sussistere o meno, secondo la configurazione corrente del gestore. Nel caso vi siano definite zone grigie gli intervalli di funzionamento master e slave sono definiti “non contigui” ed il convertitore non deve fornire o assorbire potenza quando V_{dc_BUS} si trova in tali aree. Se le aree grigie non sono definite si parla di aree master e slave contigue. In tal caso il convertitore deve passare senza soluzione di continuità dal controllo in tensione a quello in corrente o vice versa minimizzando i transienti. Pertanto, le configurazioni di V_{ref} e I_{ref} fornite dal gestore dovranno essere coerenti con questa politica.

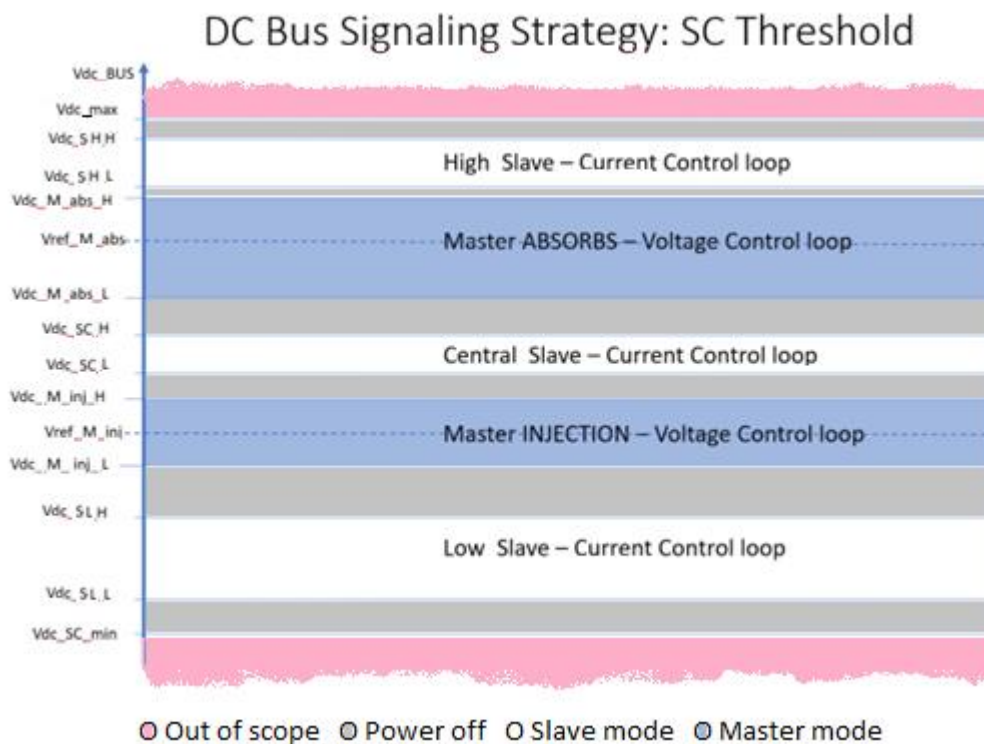


Figura 7. Logica DBS decentralizzata

Master

Con la funzionalità di Master, il Sistema di Storage a super capacitori ha l'onere di regolare il livello di tensione del bus DC della nGrid ad uno specifico valore di riferimento definito dalle seguenti soglie di tensione:

Master Absorbs: $V_{dc_M_abs_H} > V_{dc_BUS} > V_{dc_M_abs_L}$ con isteresi $V_{dc_M_abs_H_lin}$, $V_{dc_M_abs_H_lout}$, $V_{dc_M_abs_L_lin}$, $V_{dc_M_abs_L_lout}$: Il sistema regola la tensione del BUS DC ad un riferimento $V_{ref_M_abs}$. Tale regolazione deve essere vincolata sia in corrente con $I_{max_M_abs}$ e $I_{min_M_abs}$, sia secondo lo stato di carica con $SOC_{max_M_abs}$ e $SOC_{min_M_abs}$ (TBD Definire! perchè potrebbe impedire la carica in caso di ingresso in Master Absorb con s.cap scarichi!!);
Master Injection: $V_{dc_M_inj_H} > V_{dc_BUS} > V_{dc_M_inj_L}$ con isteresi $V_{dc_M_inj_H_lin}$, $V_{dc_M_inj_H_lout}$, $V_{dc_M_inj_L_lin}$, $V_{dc_M_inj_L_lout}$: Il sistema regola la tensione del BUS DC ad un riferimento $V_{ref_M_inj}$. Tale regolazione deve essere vincolata sia in corrente con $I_{max_M_inj}$ e $I_{min_M_inj}$, sia secondo lo stato di carica con $SOC_{max_M_inj}$ e $SOC_{min_M_inj}$;

Slave

High Slave: $V_{dc_SH_H} > V_{dc_BUS} > V_{dc_SH_L}$ con isteresi $V_{dc_SH_H_lin}$, $V_{dc_SH_H_lout}$, $V_{dc_SH_L_lin}$, $V_{dc_SH_L_lout}$: Il sistema è controllato con un loop di corrente con riferimento I_{ref_HS} e vincolata sia in corrente I_{max_HS} e I_{min_HS} , sia secondo lo stato di carica: SOC_{max_HS} , SOC_{min_HS} ;

Central Slave: $V_{dc_SC_H} > V_{dc_BUS} > V_{dc_SC_L}$ con isteresi $V_{dc_SC_H_lin}$, $V_{dc_SC_H_lout}$, $V_{dc_SC_L_lin}$, $V_{dc_SC_L_lout}$: Il sistema è controllato con un loop di corrente con riferimento: I_{ref_SC} e vincolata sia in corrente I_{max_SC} e I_{min_SC} , sia secondo lo stato di carica: SOC_{max_SC} , SOC_{min_SC}

Low Slave: $V_{dc_SL_H} > V_{dc_BUS} > V_{dc_SL_L}$ con isteresi $V_{dc_SL_H_lin}$, $V_{dc_SL_H_lout}$, $V_{dc_SL_L_lin}$, $V_{dc_SL_L_lout}$: Il sistema è controllato con un loop di corrente con riferimento I_{ref_SL} e vincolata sia in corrente I_{max_SL} e I_{min_SL} , sia secondo lo stato di carica: SOC_{max_SL} , SOC_{min_SL}

NB: le soglie SOC sono solo vincoli di funzionamento e non parametri da inseguire nel loop di controllo del DAB

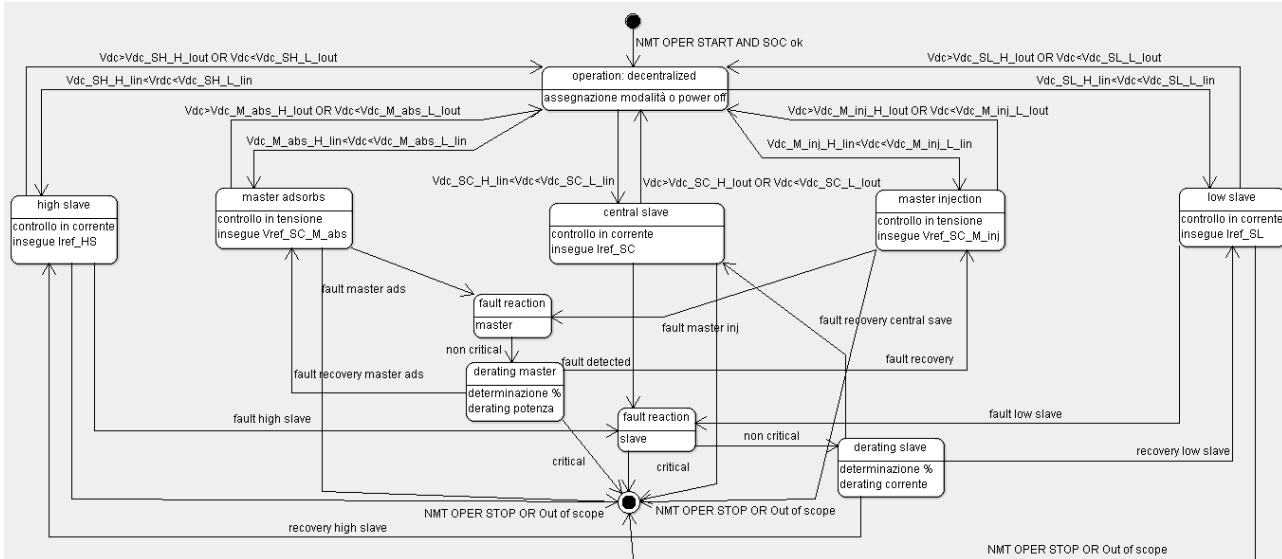


Figura 8. Logica DBS in modalità decentralizzata

Quando il DAB è in modalità decentralizzata ma nessuna delle condizioni sopra è verificata si deve rimanere in uno stato di attesa assegnazione modalità in cui non deve essere assorbita né erogata potenza. Ciò può accadere se le varie fasce master e slave sono definite non contigue. Quando, al contrario, le fasce sono definite contigue si passa comunque dallo stato di attesa per assegnare immediatamente la nuova modalità e transitare nella fascia contigua, senza spegnere la potenza.

MODALITÀ DI CONTROLLO CENTRALIZZATA

In questa modalità, il controllore del DAB riceverà direttamente in analogico dal Gestore un segnale analogico 0 – 3V con zero logico a 1.5 (0.1-2.9 se ci sono problemi di rumore) che interpreterà come percentuale della Potenza Nominale. Che quindi avrà una granularità tra i 5 e gli 8 W se campionato a 10 bit. Tale regolazione deve essere vincolata sia in potenza con $P_{max_Centralized_inj}$ e $P_{max_Centralized_abs}$, sia secondo lo stato di carica con $SOC_{max_Centralized}$ e $SOC_{min_Centralized}$;

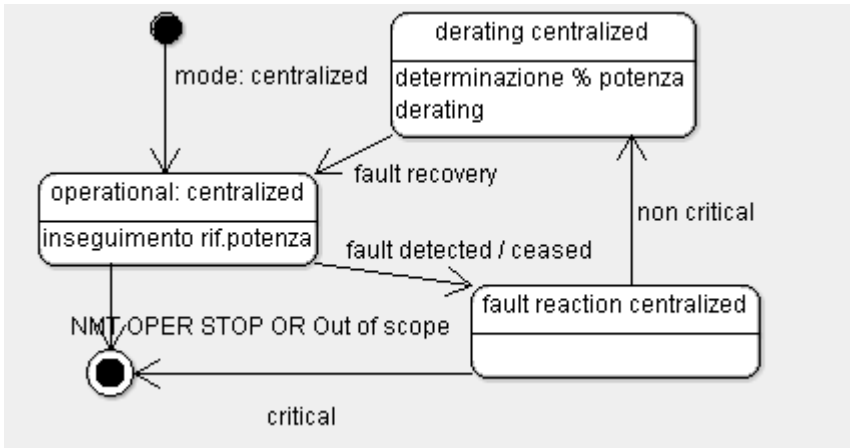


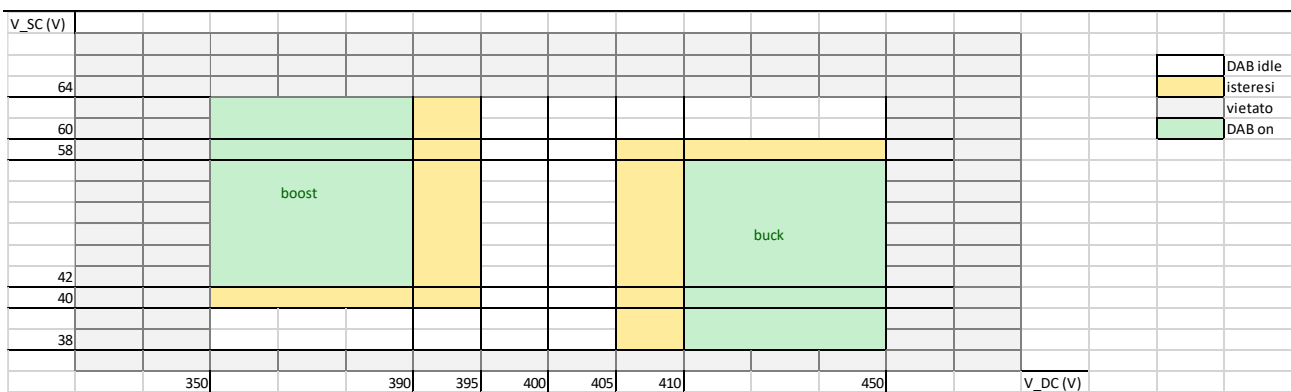
Figura 9. Modalità centralizzata

MODALITÀ DI CONTROLLO DONTCARE

Il DAB lavora in base ad una ottimizzazione interna mediante la quale determina istante per istante la corrente ideale da erogare/assorbire ma tenendo conto delle condizioni del DC BUS e del livello di SOC

La tabella seguente illustra il criterio di ottimizzazione win-win proposto (si veda anche fig.seguente)

SOC / VdcBUS	SOC Alto	SOC Basso
VdcBUS alto	DAB power off	DAB assorbe corrente
VdcBus basso	DAB inietta corrente	DAB power off



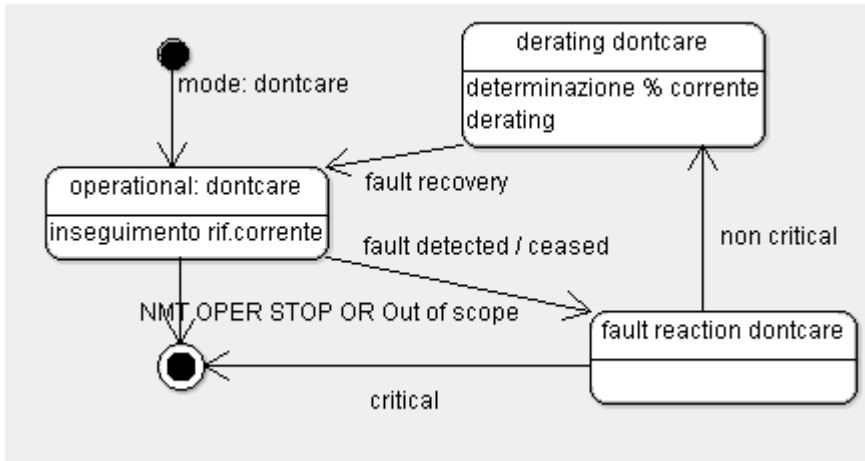


Figura 10. Modalità dontcare

8. SCAMBIO DI DATI

Di seguito i messaggi TPDO inviati a master (microcontrollore di gestione nanogrid) da accumulo supercap a fronte della ricezione del RTR Questa scelta configura una modalità per cui il singolo slave non è responsabile del mantenersi sincronizzato ad un ciclo (e per questo l’abbiamo proposta) Esistono altre possibilità sincrone/ciclico/aciclico ma presumibilmente comportano complicazioni aggiuntive. Tale modalità può essere estesa alla gestione di tutti gli altri nodi tenendo conto che la mappa dei parametri contenuti nei 64 bit di payload del TPDO può essere diversificata a secondo delle diverse tecnologie coinvolte e che i TxPDO disponibili possono essere fino a 8 di cui alcuni non utilizzati o riservati per future estensioni nel caso supercap.

La tempistica ottimale del RTR è 64 ms con baudrate 125.

NB in questi messaggi il frame CAN avrà sempre DLC=8 in quanto tutti e 8 i bytes sono sempre inviati anche se non utilizzati (reserved)

Descrizione TxPDO	COB	Node-id	PAR1	PAR2	PAR3	PAR4
TxPDO1 (info supercap)	0x180	0x0n	SOC int16 in %	SOB int16 è 0 se bilanciamento SC ok	CURRENT SC int16 in A *10	TEMP SC int16 in C° *10 (media)
TxPDO2 (status)	0x280	0x0n	STATUSWORD SYS int16	STATUSWORD CONV int16	ERRCODE CRITIC int16	ERRCODE WARNING int16

TxPDO3 (derating / dontcare)	0x380	0x0n	%Potenza derating *10 int16	%Corrente derating *10 int16	Rif. Corrente dontcare in A *10 int16	DBS Status int16
TxPDO4 (info Convert.)	0x480	0x0n	VOLTAGE SC int16 in V *10	TEMP CONV in C° *10 int16	VOLTAGE DCBUS int16 in V *10	CURRENT DCBUS int16 in A *10

Di seguito si riportano i significati dei bit (0 meno significativo) delle status word e parole per cui non è riportata l'unità fisica o di rappresentazione in tabella.

Statusword SYS 16 bit

bit	Significato	Possibili valori	Azione controllo su DAB
0	NODE HEALTY	0 HEALTY, 1 FAULT	
1	Modalità richiesta bit 0	000 IDLE, 001 CENTRALIZZATA, 010 DECENTRALIZZATA, 011 DONTCARE, SOFTSTART 1XX	Richiesta di ingresso in stato
2	Modalità richiesta bit 1		
3	Modalità richiesta bit 2		
4	POWER	1 OPERATIONAL, 0 NOT OPER	Spegnimento/accensione potenza richiesta al DAB
5	RESERVED		
6	Severità fault	0 noncritical, 1 critical	
7	RESERVED		
8	RESERVED		
9	RESERVED		
10	RESERVED		
11	RESERVED		
12	RESERVED		
13	RESERVED		
14	RESERVED		
15	RESERVED		

Statusword SYS è utilizzata in modo non canonico come control word per il DAB, in particolare bit 1-4 e bit 8-10 devono essere presi in considerazione dal DAB .

Statusword CONV 16 bit

bit	Significato	Possibili valori
0	DAB HEALTHY	0 HEALTHY, 1 FAULT
1	Modalità corrente bit 0	000 IDLE, 001 CENTRALIZZATA, 010 DECENTRALIZZATA, 011 DONTCARE, SOFTSTART 1XX
2	Modalità corrente bit 1	
3	Modalità bit 2	
4	POWER	1 ENABLED, 0 NOT ENABLED
5	Derating on	0 normal, 1 derated
6	Discharge only	0 no, 1 ammette solo scarica
7	Mode	0 charge, 1 discharge
8	DCM	1 Synchronus DCM mode attivo
9	BURST	1 burst in corso
10	SOFTSTART	1 Softstart in corso
11	STOP RECV	1 request to stop received
12	START RECV	1 request to start received
13	TEMP WARNING	0 temp ok, 1 temp>85 C°
14	BOOST	0 mod.buck, 1 mod.boost
15	TRAP	1 trapping

Error code critici 16 bit

bit	Significato	Possibili valori	Significato
0	SC Overtemperature	0 normale, 1 alarm	Temperatura supercap troppo elevata (oltre 65C°)
1	CAN fault	0 no fault, 1 fault	Comunicazione CAN interrotta
2	SERIAL fault	0 no fault, 1 fault	Comunicazione DAB interrotta
3	ANALOG fault	0 no fault, 1 fault	Malfunzionamento canali analogici
4	ILLEGAL PARAM	0 no fault, 1 fault	Uno o più parametri impostati sono errati
5	RESERVED	N.A.	
6	SC Overcurrent	0 normale, 1 alarm	Sovracorrente lato supercap

7	DCbus Overcurrent	0 normale, 1 alarm	Sovracorrente lato Dcbus
8	DAB_VIN_Failure	0 normale, 1 alarm	Tensione in input non ammissibile
9	Overtemperature DAB	0 normal, 1 alarm	Temperatura DAB troppo elevate (oltre 100C°)
10	DAB Softstart Failure	0 normal, 1 fault	Impossibile precaricare
11	DAB_OFF_UVLO	0 normal, 1 fault	Dab off per undervoltage lock out (350V<V_DCBUS <375V)
12	DAB FAN Failure	0 no fault, 1 fault	Ventola raffreddamento DAB in avaria
13	SC Undervoltage	0 normale, 1 alarm	Insufficiente carica supercap – DAB inattivo
14	Dcbus Undervoltage	0 normale, 1 alarm	Insufficiente tensione lato DCBUS
15	Dcbus Overvoltage	0 normale, 1 alarm	Sovratensione lato Dcbus

Error code non critici 16 bit

bit	Significato	Possibili valori	Significato	Azione o derating
0	SC Temperature trend rising	0 normale, 1 alarm	Temperatura supercap sale verso livelli critici	Ridurre Potenza
1	SC State of Balancing	0 no fault, 1 fault	Sono presenti allarmi di sbilanciamento carica SC	Consentire solo scarica
2	RESERVED	N.A.		
3	RESERVED	N.A.		
4	RESERVED	N.A.		
5	RESERVED	N.A.		
6	RESERVED	N.A.		
7	RESERVED	N.A.		
8	RESERVED	N.A.		
9	DAB Temperature trend rising	0 normal, 1 alarm	Temperatura DAB sale verso livelli critici (oltre 85C°)	Ridurre potenza
10	DAB HICCUP	0 normal, 1 fault	Tentativi di limitare la corrente in atto	Ridurre potenza

11	RESERVED	N.A.		
12	DAB_UV	0 normal, 1 fault	Dab unvoltage in output (V_DCBUS <350V)	Attivare nanogrid (V_DCBUS >350V)
13	SC Overvoltage	0 normale, 1 alarm	Carica Superonndensatori eccessiva	Consentire solo scarica
14	RESERVED	N.A.		
15	RESERVED	N.A.		

Di seguito è riportato l'elenco parametri contenuto nella memoria del sistema storage ed i relativi indirizzi (nel range 0-127). E' presente la mappatura degli indirizzi in memoria con gli oggetti CANOpen scambiati col gestore. Il tipo richiesta DAB indica i parametri che vengono inviati al DAB (W) e quelli che vengono letti dal DAB;

La parte bassa della memoria 0-99 è in lettura/scrittura per il gestore, (96-111 in sola lettura), la parte alta è in sola lettura.

Il formato dei dati è sempre int16 (uint16 per tensioni ed energia), le % sono espresse nel range da -1000=-100% a 1000=100% cioè scalate di 10 (0=0%).

Stesso fattore di scala 10X per tensioni, potenze, correnti e temperature.

Parametro	Object index	Object sub-index	Tipo richiesta CanOpen	Tipo richiesta DAB	Ind. Dato	Val. Default
modalità	0x00	0x00	upl/dwl	N.A.	0	Idle
Set parametri	0x00	0x01	upl/dwl	N.A.	1	0
Isteresi (V) Vdc_M_abs_H_lin	0x00	0x08	upl/dwl	N.A.	8	395 V
Isteresi Vdc_M_abs_H_lout	0x00	0x09	upl/dwl	N.A.	9	420 V
Isteresi Vdc_M_abs_L_lin	0x00	0x0A	upl/dwl	N.A.	10	405 V
Isteresi Vdc_M_abs_L_lout	0x00	0x0B	upl/dwl	N.A.	11	380 V
Isteresi Vdc_M_inj_H_lin	0x00	0x0C	upl/dwl	N.A.	12	0 V
Isteresi Vdc_M_inj_H_lout	0x00	0x0D	upl/dwl	N.A.	13	0 V
Isteresi Vdc_M_inj_L_lin	0x00	0x0E	upl/dwl	N.A.	14	0 V

Isteresi Vdc_M_inj_L_lout	0x00	0x0F	upl/dwl	N.A.	15	0 V
Soglia (V) Vdc_max	0x01	0x00	upl/dwl	N.A.	16	450 V
Soglia Vdc_SH_H	0x01	0x01	upl/dwl	N.A.	17	445 V
Soglia Vdc_SH_L	0x01	0x02	upl/dwl	N.A.	18	422,5 V
Soglia Vdc_M_abs_H	0x01	0x03	upl/dwl	N.A.	19	422,5 V
Riferimento Vref_M_abs	0x01	0x04	upl/dwl	W	20	400 V
Soglia Vdc_M_abs_L	0x01	0x05	upl/dwl	N.A.	21	407,5 V
Soglia Vdc_SC_H	0x01	0x05	upl/dwl	N.A.	22	407,5 V
Soglia Vdc_SC_L	0x01	0x06	upl/dwl	N.A.	23	350 V
Soglia Vdc_M_inj_H	0x01	0x07	upl/dwl	N.A.	24	0 V
Riferimento Vref_M_inj	0x01	0x08	upl/dwl	W	25	0 V
Soglia Vdc_M_inj_L	0x01	0x09	upl/dwl	N.A.	26	0 V
Soglia Vdc_SL_H	0x01	0x0A	upl/dwl	N.A.	27	0 V
Soglia Vdc_SL_L	0x01	0x0B	upl/dwl	N.A.	28	0 V
Soglia Vdc_min	0x01	0x0D	upl/dwl	N.A.	29	350 V
Isteresi Vdc_SH_H_lin	0x02	0x00	upl/dwl	N.A.	32	445 V
Isteresi Vdc_SH_H_lout	0x02	0x01	upl/dwl	N.A.	33	450 V
Isteresi Vdc_SH_L_lin	0x02	0x02	upl/dwl	N.A.	34	420 V
Isteresi Vdc_SH_L_lout	0x02	0x03	upl/dwl	N.A.	35	395 V
Isteresi Vdc_SC_H_lin	0x02	0x04	upl/dwl	N.A.	36	380 V
Isteresi Vdc_SC_H_lout	0x02	0x05	upl/dwl	N.A.	37	405 V
Isteresi Vdc_SC_L_lin	0x02	0x06	upl/dwl	N.A.	38	355 V
Isteresi Vdc_SC_L_lout	0x02	0x07	upl/dwl	N.A.	39	350 V
Isteresi Vdc_SL_H_lin	0x02	0x08	upl/dwl	N.A.	40	0 V
Isteresi Vdc_SL_H_lout	0x02	0x09	upl/dwl	N.A.	41	0 V

Isteresi Vdc_SL_L_lin	0x02	0x0A	upl/dwl	N.A.	42	0 V
Isteresi Vdc_SL_L_lout	0x02	0x0B	upl/dwl	N.A.	43	0 V
rif. Corrente (A) Imax_SH	0x03	0x00	upl/dwl	N.A.	48	0 A
rif. Corrente Imin_SH	0x03	0x01	upl/dwl	N.A.	49	-2,5 A
rif. Corrente Imax_M_abs	0x03	0x02	upl/dwl	N.A.	50	2,5 A
rif. Corrente Imin_M_abs	0x03	0x03	upl/dwl	N.A.	51	-2,5 A
rif. Corrente Imax_SC	0x03	0x04	upl/dwl	N.A.	52	2,5 A
rif. Corrente Imin_SC	0x03	0x05	upl/dwl	N.A.	53	0 A
rif. Corrente Imax_M_inj	0x03	0x06	upl/dwl	N.A.	54	0 A
rif. Corrente Imin_M_inj	0x03	0x07	upl/dwl	N.A.	55	0 A
rif. Corrente Imax_SL	0x03	0x08	upl/dwl	N.A.	56	0 A
rif. Corrente Imin_SL	0x03	0x09	upl/dwl	N.A.	57	0 A
rif. Corrente Iref_SH	0x03	0x0A	upl/dwl	N.A.	57	-2,5 A
rif. Corrente Iref_SC	0x03	0x0B	upl/dwl	N.A.	57	2,5 A
rif. Corrente Iref_SL	0x03	0x0C	upl/dwl	N.A.	57	0 A
rif. SOC (%) SOC_max_SH	0x04	0x00	upl/dwl	N.A.	64	950
rif. SOC SOC_min_SH	0x04	0x01	upl/dwl	N.A.	65	100
rif. SOC SOC_max_M_abs	0x04	0x02	upl/dwl	N.A.	66	950
rif. SOC SOC_min_M_abs	0x04	0x03	upl/dwl	N.A.	67	100
rif. SOC SOC_max_SC	0x04	0x04	upl/dwl	N.A.	68	500
rif. SOC SOC_min_SC	0x04	0x05	upl/dwl	N.A.	69	100
rif. SOC SOC_max_M_inj	0x04	0x06	upl/dwl	N.A.	70	0

rif. SOC SOC_min_M_inj	0x04	0x07	upl/dwl	N.A.	71	0
rif. SOC SOC_max_SL	0x04	0x08	upl/dwl	N.A.	72	0
rif. SOC SOC_min_SL	0x04	0x09	upl/dwl	N.A.	73	0
rif. SOC SOCmax_Centralize d	0x04	0x0A	upl/dwl	N.A.	74	0
rif. SOC SOCmin_Centralized	0x04	0x0B	upl/dwl	N.A.	75	0
rif. Potenza % Pmax_Centralized_i nj	0x05	0x00	upl/dwl	W	80	1000
rif. Potenza % Pmax_Centralized_a bs	0x05	0x01	upl/dwl	W	81	-1000
TEMP SC (C°)	0x06	0x00	upl /PDO	N.A.	96	
SOB	0x06	0x01	upl /PDO	N.A.	97	
STATUSWORD SYS	0x06	0x02	upl /PDO	N.A.	98	
Rif. Corrente dontcare %	0x06	0x03	upl /PDO	N.A.	99	
ERRCODE CRITIC	0x06	0x04	upl /PDO	N.A.	100	
ERRCODE WARN	0x06	0x05	upl /PDO	N.A.	101	
%Potenza derating	0x06	0x06	upl /PDO	N.A.	102	
%Corrente derating	0x06	0x07	upl /PDO	N.A.	103	
PWR analog setpoint %	0x06	0x08	upl /PDO	W	104	
SOC (Wh)	0x06	0x09	upl /PDO	R	105	
CURRENT SC (A)	0x06	0x0A	upl /PDO	R	106	
TEMP CONV (C°)	0x06	0x0B	upl /PDO	R	107	
STATUSWORD/FAUL T CONV	0x06	0x0C	upl /PDO	R	108	
Tensione DCBUS (V)	0x06	0x0D	upl /PDO	R	109	
Corrente DCBUS (A)	0x06	0x0E	upl /PDO	R	110	
Tensione SC (V)	0x06	0x0F	upl /PDO	R	111	
Statusword DAB	0x07	0x0	n.a.	R	112	
Errorcode DAB	0x07	0x1	n.a.	R	113	
DBS Status	0x07	0x2	PDO	R	114	
DAB_SC_V_MIN	0x07	0x3	PDO	R	114	420

DAB_SC_V_MAX	0x07	0x4	PDO	R	114	580
DAB_OUT_V_SET	0x07	0x5	PDO	R	115	450
Riservato per estensioni	0x07	0xXX	n.a.	R	116-127	

La comunicazione CANOpen prevede i tipi di messaggistica expedited download ed expedited upload a 16 bit, come definiti di seguito:

Messaggio di scrittura di un parametro inviato da gestore

descrizione	COB	Node-id	CMD	Object index	Object subindex	Valore int 16
EXPEDITED DOWNLOAD REQ a 16 bit						
Impostazione valore parametro da gestore	0x600	0x0n	0x2B	0xNN	0xMM	Valore da impostare per il parametro avente object id 0xNN e subindex 0xMM

A cui segue il messaggio di risposta

EXPEDITED DOWNLOAD RES a 16 bit						
Risposta esito scrittura parametro	0x580	0x0n	0x2B	0xNN	0xMM	0x00000000 se a buon fine, codice di errore altrimenti (vedi nota)

NOTA* il RES della richiesta di scrittura contiene Zero se operazione di scrittura andata a buon fine, altrimenti i 4 byte conterranno nei primi due il codice addizionale e nei successivi due byte un codice di errore così definito:

byte1: error class

byte2: error code

la tabella seguente riepiloga i valori dei codici di errore e le relative cause, così come definiti dallo standard CANOpen.

Description	Error Class	Error Code	Additional Code
Toggle bit not alternated	5 Service Error	3 Parameter Inconsistent	0
Command specifier not valid	5 Service Error	4 Illegal Parameter	0
Object does not exist	6 Access Error	2 Object non-existent	0
Attempt to read a write only Object	6 Access Error	1 Object access unsupported	0

Attempt to write a read only Object	6 Access Error	1 Object access unsupported	0
Index value is reserved for further use (00A0h-0FFFh and A000h-FFFFh)	6 Access Error	4 Invalid address	0
Access failed due to hardware	6 Access Error	6 Hardware fault	0
Sub-index does not exist	6 Access Error	9 Object attribute inconsistent	11h
Object length too high	6 Access Error	7 Type conflict	12h
Object length too low	6 Access Error	7 Type conflict	13h
Data cannot be transferred / Invalid signature	8 Other Error	0	20h
Parameter value out of range	6 Access Error	9 Object attribute inconsistent	30h
Sub-parameter value out of range	6 Access Error	9 Object attribute inconsistent	33h
Maximum value < Minimum value	6 Access Error	9 Object attribute inconsistent	36h
Object cannot be mapped to PDO	6 Access Error	4 Invalid address	41h
PDO length exceeded	6 Access Error	4 Invalid address	42h
General internal incompatibility	6 Access Error	4 Invalid address	44h

Lo standard prevede anche la possibilità per il master, che invia il SDO di richiesta, di abortire la richiesta appena inviata. Si è scelto di non implementare questo dettaglio in quanto può portare a delle inconsistenze e problematiche di sicurezza nel funzionamento dei convertitori (es. viene impostata una modalità, si invia NMT operational e poi si richiede l'abort dell'impostazione della modalità, ottenendo un'inconsistenza tra la modalità di funzionamento del convertitore, che come ricordiamo non può essere variata mentre è operativo, e la modalità che il gestore della nanogrid vorrebbe ripristinare). In ogni caso il gestore della nanogrid può inviare un successivo SDO di write per modificare il valore di un parametro non desiderato.

Esempio:
comando scrittura

Impostazione modalità	0x600	0x0n	0x2B	0x00	0x00	0x0 IDLE 0x1 CENTRALIZZATA
-----------------------	-------	------	------	------	------	-------------------------------

						0x2 DECENTRALIZZATA 0x3 DONTCARE
--	--	--	--	--	--	--

risposta esito

Risposta esito scrittura parametro	0x580	0x0n	0x2B	0x00	0x00	0x00000000 se a buon fine, codice di errore altrimenti (vedi nota)
--	-------	------	------	------	------	---

Di seguito il formato del comando che il gestore nanogrid può inviare per leggere i parametri del nodo di accumulo. Sono leggibili tutti i parametri modificabili in scrittura, elencati nella tabella degli expedited download, ed i parametri in sola lettura che sono disponibili anche utilizzando i PDO. Questa ridondanza è necessaria sia perchè la lettura mediante PDO è ammessa solamente quando non si è in standby, sia per consentire eventuali ridefinizioni dei parametri letti via PDO che possono essere un sottoinsieme dei parametri complessivi (sia in lettura che in lettura/scrittura). I parametri in sola lettura hanno Object Index > 0x06

descrizione	COB	Node- id	CMD	Object index	Object subindex	Valore int 16
EXPEDITED UPLOAD REQ a 16 bit						
Lettura parametro 0xNN, 0xMM	0x600	0x0n	0x4B	0xNN	0xMM	n.a., zero fill

e la relativa risposta inviata al gestore

EXPEDITED UPLOAD RES a 16 bit						
RESP Lettura parametro 0xNN, 0xMM	0x580	0x0n	0x4B	0xNN	0xMM	Valore attuale parametro

Esempio:

descrizione	COB	Node- id	CMD	Object index	Object subindex	Valore int 16
EXPEDITED UPLOAD REQ a 16 bit						
Lettura parametro impostazione modalità	0x600	0x0n	0x4B	0x00	0x00	n.a., zero fill

e la relativa risposta inviata al gestore

EXPEDITED UPLOAD RES a 16 bit						
RESP Lettura parametro impostazione modalità	0x580	0x0n	0x4B	0x00	0x00	Valore attuale parametro modalità

NB

I parametri scambiati via SDO sono esclusivamente WORD (16 bit) formati da due bytes ma l'ordine dei bytes può essere invertito a seconda delle rappresentazioni, ad es. il numero esadecimale 0x0123 può essere immagazzinato come:

Little endian	Big endian
+----+----+	+----+----+
0x23 0x01	0x01 0x23
+----+----+	+----+----+
byte: 0 1	0 1

In CANOpen è necessario utilizzare sempre la rappresentazione Little Endian

La tabella di riepilogo object dictionary contiene fino a 128 oggetti int16 di cui alcuni non utilizzati ma accessibili ed alcuni riservati ed inaccessibili.

Object Dictionary

tipologia	index	subindex	Descrizione
MODALITA	0	0	modalità di controllo richiesta
ISTERESI M	0	8-15	isteresi assoluta soglie master soglie per modalità
SOGLIE TENSIONE	1	0-13	decentralizzata
ISTERESI S	2	0-11	isteresi assoluta soglie slave
RIF.CORRENTE	3	0-9	riferimento corrente
RIF.SOC	4	0-11	riferimento carica
RIF.POTENZA	5	0-1	riferimento potenza
SOLA LETTURA	6	0-15	parametri accessibili in real time
RISERVATI	7	0-15	parametri non accessibili

Messaggi di servizio

NMT OPER ha COB=0, nei due byte successivi del frame vi saranno:
codice funzione di 8 bit:

0x01	Enter Operational
0x02	Enter Stop
0x80	Enter Pre-operational (precarica)

0x81 Reset node

0x82 Reset communication

Codice nodo destinazione, 8 bit che potrà contenere 0x00 broadcast (il messaggio è rivolto a tutti i nodi) oppure il Node-id del target

Tutti gli altri bytes del frame sono da porre a 0 e il DLC a 8

RTR

ha COB=0x700 + il node-id a cui è destinato. Tutti gli altri bytes del frame sono da porre a 0 e il DLC a 0

EMCY

Il frame di emergenza ha:

COB=0x80+node-id del nodo da cui proviene

I primi due byte del frame EMCY contengono un codice di errore a 16 bit. Gli errori in base alla specifica CANOpen dovranno ricadere nei seguenti:

Value	Description
00xx16	No error or reset
10xx16	Generic error
20xx16	Current
21xx16	Current, CANOpen device input side
22xx16	Current inside the CANOpen device
23xx16	Current, CANOpen device output side
30xx16	Voltage
31xx16	Mains
32xx16	Voltage inside the CANOpen device
33xx16	Output voltage
40xx16	Temperature
41xx16	Ambient temperature

42xx16	CANopen device temperature
50xx16	CANopen device hardware
60xx16	CANopen device software
61xx16	Internal software
62xx16	User software
63xx16	Data set
70xx16	Additional modules
80xx16	Monitoring
81xx16	Communication
82xx16	Protocol
90xx16	External
F0xx16	Additional functions
FFxx16	CANopen device specific

16-bit error code classes

Di tali codici si propone di usare quelli predefiniti quando corrispondono ad anomalie che possono effettivamente accadere nella applicazione nanogrid oppure il codice 0xFFxx dove xx saranno dei codici specifici a 8 bit definiti per anomalie della specifica applicazione nanogrid. Questi ultimi, se sussistono, saranno concordati con UniCal.

Il terzo byte è un codice registro errore a 8 bit che può essere usato dal can slave per realizzare una macchina a stati dell'errore, ad es. se intervengono errori multipli lo stato di assenza errore si riguadagna solo se tutti gli errori sono stati risolti.

I successivi 5 bytes sono specifici dell'applicazione e contengono i codici errore del sistema.

Complessivamente il payload del frame EMCY è così composto:

byte	0	1	2	3	4	5	6	7
significato	Codice err. CANOpen		Error counter	Non utilizzato	Errcode critici		Errcode non critici	

Il DLC di EMCY è 8.

In caso di fault critici per cui il dispositivo non è più in grado di gestire carica/scarica è inviato EMCY e si torna in stato pre-operazionale, mentre per errori e anomalie non critiche si rimane in stato operativo (eventualmente con derating delle prestazioni) inviando un apposito codice di errore nella parola di stato di sistema Errcode non critici inviata con PDO

9. SCAMBIO DI DATI TRA SCHEDA CONTROLLO E DAB

Per ragioni di modularità e flessibilità si è scelto di mantenere separati i microcontrollori di gestione del DAB e della scheda di interfaccia. Questi comunicheranno via seriale utilizzando il protocollo REQ/RESP di seguito descritto:

Il formato del frame di REQ inviato al DAB è il seguente:

campo	Tipo	Note
firma	uint8	0x55
function_code	uint8	Codice del comando inviato
Parametro 16bit LSB	uint8	Opcodes del comando byte meno significativo
Parametro 16bit MSB	uint8	Opcodes del comando byte più significativo
CRC	uint8	Somma dei tre byte precedenti

Il formato del frame di RESP inviato dal DAB è il seguente:

campo	Tipo	Note
firma	uint8	0x55
Id parametro	uint8	Identificativo del parametro restituito
Valore param. 16bit LSB	uint8	Valore del parametro byte meno significativo
Valore param. 16bit MSB	uint8	Valore del parametro byte più significativo
CRC	uint8	Somma dei tre byte precedenti

Di seguito si riportano i comandi che possono essere inviati al DAB per il settaggio di parametri o la richiesta di dati.

```

/** Reads all parameters ciclically*/
UART_READ          (0x80)
/** Output voltage setting */
UART_OUT_V         (0x01)
/** Dead time A B setting */
UART_DT_A_B        (0x02)
/** Dead time C D setting */
UART_DT_C_D        (0x03)

```

```
/** Read status. Status word */
UART_STATUS_S      (0x04)
/** Read status. Status word */
UART_STATUS_F      (0x05)
/** Saves parameters into flash. This takes large time. */
UART_SAVE          (0x06)
/** Restore parameters from flash. This is done during startup by default. */
UART_RESTORE       (0x07)
/** Synchronous switch ON delay. */
UART_SYNC_ON_DLY   (0x08)
/** Synchronous switch OFF delay. */
UART_SYNC_OFF_DLY  (0x09)
/** Synchronous current dependency factor. */
UART_SYNC_ON_IL_F  (0x0A)
/** Synchronous current dependency ratio. */
UART_SYNC_ON_IL_R  (0x0B)
/** Synchronous current dependency factor. */
UART_SYNC_OFF_IL_F (0x0C)
/** Synchronous current dependency ratio. */
UART_SYNC_OFF_IL_R (0x0D)
/** Bridge current dependency factor. */
UART_BRIDGE_AB_IL_F (0x0E)
/** Bridge current dependency ratio. */
UART_BRIDGE_IL_R   (0x0F)

/** Start enable command. */
UART_START_EN      (0x10)
/** ON-OFF command. Start payload */
UART_ON_OFF_START  (0x8080)
/** ON-OFF command. Stop payload */
UART_ON_OFF_STOP   (0x0101)

/** Buck-Boost mode operation. */
UART_BUCK_BOOST_SLCTN (0x30)
/** Buck-Boost mode selection. Boost mode payload. */
UART_BOOST_MODE     (0x8080)
/** Buck-Boost mode selection. Buck mode payload. */
UART_BUCK_MODE      (0x0101)

/** Synchronous normal mode threshold. */
UART_SYNC_DCM       (0x11)
/** Synchronous DCM mode threshold. */
UART_SYNC_ICP       (0x12)
/** Fan protection enabling. */
UART_DEBUG_FAN      (0x13)
/** Vin protection enabling. */
UART_DEBUG_VIN      (0x14)
/** Soft start protection enabling. */
UART_DEBUG_SOFT     (0x15)
/** Maximum phase. */
```

```
UART_MAX_PHASE          (0x16)
/** Minimum phase. */
UART_MIN_PHASE          (0x17)
/** Burst phase. */
UART_BURST_PHASE        (0x18)
/** Stop PWM limit. */
UART_BURST_STOP_LIMIT   (0x19)
/** Burst low threshold. */
UART_BURST_LOW_LIMIT    (0x1A)
/** Burst high threshold. */
UART_BURST_HIGH_LIMIT   (0x1B)
/** Burst skipping cycles. */
UART_BURST_TRAP_CYC     (0x1C)
/** Burst skipping cycles. */
UART_BURST_LENGHT      (0x1D)
/** Brown in voltage. */
UART_VIN_MIN_HIGH       (0x1E)
/** Bridge current dependency factor. */
UART_BRIDGE_CD_IL_F     (0x1F)
/** Synchronous switch ON delay. */
UART_SYNC_ON_DCM_DLY    (0x24)
/** Boost dead time A B setting */
BOOST_UART_DT_A_B       (0x31)
/** Boost dead time C D setting */
BOOST_UART_DT_C_D       (0x32)
```

Di seguito si riportano i codici dei parametri in lettura restituiti dal DAB quando si esegue il comando UART_READ.

```
/** Metering of output voltage. */
#define METER_VO          (0x20)
/** Metering of output current. */
#define METER_IO          (0x21)
/** Metering of input voltage. */
#define METER_VIN         (0x22)
/** Metering of input current. */
#define METER_IIN         (0x23)

/** Version of software. */
#define SOFT_VER           (0x25)
/** Converter identifier. */
#define CONVERTER_ID      (0x26)
/** NTC temperature. */
#define NTC_TMP            (0x27)
/** Die temperature. */
#define DIE_TMP            (0x28)
```

Per tutti i parametri DAB esiste un valore di default, un valore minimo ed un valore massimo ammissibili.

Le modalità operative del DAB sono buck (adsorb) e boost (inject). Nella prima modalità si deve impostare la tensione di riferimento dello storage. La potenza massima da non superare durante la carica è per default 3300 W. In modalità boost la tensione di riferimento di default è 400V e la potenza ugualmente 3300W. Si deve effettuare una modifica al software del DAB per cui sia possibile variare la tensione di rif. In boost e la potenza max sia in boost che in buck. Ciò consente di implementare le logiche decentralizzata e centralizzata

TBD: alla partenza il DAB per default si pone in modalità pre-charge con l'obiettivo di raggiungere la tensione di 45V sui supercap, se non già raggiunta o superata, nel qual caso si mantiene nella modalità buck alla tensione attuale.

A seguito di approfondimenti si determinerà se è preferibile partire con il DAB spento e gestire separatamente la fase di precharge (es offline).

10.VALIDAZIONE

Le prove di validazione sono state suddivise in tre gruppi: test della scheda di controllo, test del DAB e test di integrazione.

I test della scheda di controllo comprendono:

- impostazione e lettura di parametri da gestore
- avvio e interruzione delle operazioni da gestore
- trasmissione al gestore di parametri di funzionamento (tensioni, correnti, temperature)
- comportamento macchina a stati della logica DBS al variare della tensione DC Bus.

I test del DAB comprendono:

- caratterizzazione del convertitore in modalità boost a diversi livelli di potenza
- verifica circuito resistivo anti-sovraccarico corrente durante caricamento supercondensatori
- verifica circuito controllo relè protezione contro buco tensione su DC-BUS
- caratterizzazione del convertitore in modalità buck a diversi livelli di potenza
- verifiche termiche

I test di integrazione comprendono:

- lettura ciclica parametri di funzionamento DAB da scheda di controllo
- impostazione parametri di funzionamento DAB da scheda di controllo
- abilitazione/disabilitazione potenza del DAB da scheda di controllo
- avvio in modalità boost del DAB da scheda di controllo
- avvio in modalità buck del DAB da scheda di controllo
- passaggio tra modalità buck e boost o viceversa durante il funzionamento DAB