



AUTONOME  
PROVINZ  
BOZEN  
SÜDTIROL



PROVINCIA  
AUTONOMA  
DI BOLZANO  
ALTO ADIGE

## Deliverable 3.3

WP3: Definizione dei protocolli di test

*Prima versione dei protocolli di test*

Edizione n. 1  
Revisione n. 0

**Preparato da**  
Ing. Matteo SCANAVINO  
(Personale Tecnico)

**Approvato da**  
Dott. Andrea VILARDI  
(Responsabile Tecnico)

**Data 12/02/2021**

## DronEx - FESR1048

**terra**cube  
eurac research

Deliverables di progetto

Ed. n. 1  
Rev. n. 0

Pag.12

### Stato di aggiornamento

Edizione / Revisione	Data	Note
Ed. 1/ Rev. 0	12/02/2021	

### Numero di pagine valide

Questo documento è costituito complessivamente da **12** pagine.

## Sommario

<b>Stato di aggiornamento</b> .....	2
<b>Numero di pagine valide</b> .....	2
<b>Scenari di utilizzo e descrizione dei protocolli di test</b> .....	4
Scenari di utilizzo (UCs) .....	4
Protocolli di test.....	6
Note conclusive .....	9
Allegati.....	11

## Scenari di utilizzo e descrizione dei protocolli di test

Il documento descrive gli scenari (UCs) di utilizzo per il simulatore *terraXcube* nell'ambito del progetto DronEx. Vengono riportati i protocolli di test per ogni UC allo stato attuale della ricerca. È prevista una seconda iterazione nella definizione dei medesimi a valle dell'esecuzione dei primi test, volta a migliorare e irrobustire le procedure di test, superandone limiti e difficoltà.

### Scenari di utilizzo (UCs)

Le caratteristiche del simulatore *terraXcube* permettono lo svolgimento di un'attività sperimentale ad ampio spettro sui sistemi *Unmanned Aerial Vehicles* (UAVs). Il dialogo con le aziende del territorio (MavTech, Soleon e FlyBasket) ha permesso di identificare quattro scenari di utilizzo di interesse.

- **UC1: Test ambientali sul sistema propulsivo**

Obiettivo di questo scenario è la caratterizzazione della spinta, della coppia e dei consumi del singolo rotore indipendentemente dall'architettura specifica della macchina. Il test mira a descrivere l'effetto delle variazioni ambientali sull'efficienza del sottosistema propulsivo nella sua forma più semplice e composto da:

- Elica
- Motore brushless
- Regolatori di velocità (*Electronic Speed Controller*)
- Il test è applicabile sia per configurazioni ad ala fissa sia per sistemi ad ala rotante (multirotori). Il disaccoppiamento del propulsore dal sistema di alimentazione specifico permette lo studio dei parametri ambientali soffermandosi sull'aerodinamica dell'elica influenzata dalla densità dell'ambiente climatico artificialmente generato. Sebbene a livello industriale i test di maggiore interesse riguardino gli effetti della temperatura e della quota (pressione), si vuole evidenziare anche l'effetto combinato dei parametri ambientali e dell'umidità. Tali grandezze agiscono sulle prestazioni aerodinamiche attraverso variazioni di densità. La Tabella 1 riporta i parametri ambientali considerati per caratterizzare della risposta del sistema propulsivo.

#	Atmosfera di riferimento	Note
1	Variazione di temperatura a pressione e umidità costanti	Range temperatura: da -40 °C a +60 °C con intervalli di 20 °C
2	Variazione di pressione a temperatura e umidità costanti	Range di quota: da atmosfera di riferimento (quota Bolzano) a 9000 m con intervalli di 1000 m
3	Effetto combinato di temperatura e umidità a pressione costante	Range di temperatura: da +5 °C a 25 °C con intervalli di 5 °C Range di umidità relativa: dal 10% al 90% con intervalli del 10%
4	Atmosfera Standard Internazionale (ISA) – Effetto combinato pressione e temperatura	Range di quota: da atmosfera di riferimento (quota Bolzano) a 3000 m con intervalli di 500 m

Tabella 1 - Atmosfere di riferimento UC1, UC2, UC3

- UC2: Test ambientali sul sistema UAV al banco**

In questo scenario di utilizzo si pone l'attenzione sull'intero sistema UAV. È possibile caratterizzare le prestazioni della macchina specifica in relazione alla sua architettura. Il test è volto a quantificare la spinta totale, le coppie di controllo e gli assorbimenti di potenza di piattaforme ad ala fissa o ad ala rotante. Come per UC1, lo studio permette la valutazione del ruolo dei parametri ambientali sull'aerodinamica dell'intera piattaforma di volo. Con riferimento ai multirotori, verranno evidenziate le non-linearità del campo aerodinamico che rendono la spinta complessiva inferiore alla somma delle spinte dei singoli rotori e si quantificherà tale comportamento nei diversi climi simulati. I dati raccolti permetteranno lo sviluppo di modelli di simulazioni più aderenti al comportamento reale del sistema propulsivo. Le misure realizzate in UC2 non sono limitate alle grandezze meccaniche (spinta, coppia, numero di giri) ed elettriche ma coinvolgono anche i livelli di rumorosità della macchina stessa a diverse altezze e angoli dalla sorgente di rumore. I dati verranno utilizzati per migliorare il progetto dei rotori e favorire l'accettabilità sociale dell'impiego di multirotori in aree densamente popolate. Le atmosfere di riferimento per UC2 sono analoghe a quelle riportate per UC1.

- UC3: Test ambientali sul sistema UAV**

I test al banco previsti in UC2 non sono sufficienti per caratterizzare il comportamento dinamico della piattaforma di volo. Lo scenario di utilizzo UC3 valuta gli effetti dell'ambiente sulle modalità di volo comunemente impiegate durante l'esecuzione di missioni. L'attenzione è posta sul sottosistema autopilota con particolare interesse alle prestazioni degli algoritmi di *Guida Navigazione* e *Controllo* (GNC). I test riguardano le piattaforme ad ala rotante in modalità di volo automatiche, con possibilità di intervento del pilota sui comandi per garantire uno standard di sicurezza adeguato all'esecuzione dei test di volo, sia per la macchina oggetto dei test che per la struttura *terraXcube*. Non si esclude di poter estendere in una fase successiva UC3 anche per piattaforme ad ala fissa, con conseguente modifica ed ampliamento dei protocolli di test per il caso specifico. Le atmosfere di riferimento per UC3 sono analoghe a quelle riportate per UC1.

- UC4: Test termici sul sistema di alimentazione**

Le prestazioni della macchina completa dipendono sia dall'aerodinamica dei rotori sia dall'efficienza nella conversione dell'energia chimica in energia meccanica. Lo scopo di questo scenario di utilizzo è la caratterizzazione delle curve di scarica e dell'efficienza dei sistemi di alimentazione (batterie LiPo) impiegati a bordo delle piattaforme UAV. Le atmosfere di riferimento per UC4 sono riportate in Tabella 2.

#	Atmosfera di riferimento	Note
1	Variazione di temperatura a pressione e umidità costanti	Temperature di test: -20 °C, 0 °C, +20 °C e +40°C
2	Variazione di umidità a temperatura e pressione costanti	Umidità relativa di test: 10%, 40%, 70%, 100%
3	Effetto combinato di temperatura e umidità a pressione costante	Range di temperatura: da +5 °C a 25 °C con intervalli di 5 °C Range di umidità relativa: dal 10% al 90% con intervalli del 10%

Tabella 2 - Atmosfere di riferimento UC4

Il dettaglio delle condizioni climatiche oggetto di test (time-history e stima dei transitori climatici) per gli scenari di utilizzo è riportato nell'Allegato 1.

L'avanzamento attuale dei lavori è tale da garantire l'attivazione di UC1 e UC2 non appena il simulatore *terraXcube* sarà reso disponibile per la fase iniziale di messa in servizio. Gli scenari UC3 e UC4 sono di interesse industriale ma necessitano uno studio più approfondito per superare problematiche tecniche ad esse associate (sistema di navigazione indoor non invasivo e analogo al posizionamento GPS per UC3, meccanismo di scarica e recupero dell'energia elettrica per UC4). L'esecuzione dei test per UC1, UC2 e UC3 coinvolgerà la struttura principale di *terraXcube* (*Large Cube*); per UC4 si prevede l'utilizzo delle camere compartimentate (*Small Cube*) al fine di velocizzare il processo di test.

## Protocolli di test

Per gli scenari di utilizzo indicati nella sezione precedente, si riportano i protocolli di test volti a garantire la ripetibilità delle misure e la sicurezza delle persone coinvolte nello svolgimento delle attività. Nella descrizione dei protocolli si utilizza la notazione  $UC_{n,m}$ , dove  $n$  si riferisce allo scenario di utilizzo e  $m$  all'atmosfera considerata, con riferimento alla Tabella 1 e 2. Ad esempio, UC1.1 indica lo scenario di utilizzo "UC1: Test ambientali sul sistema propulsivo" con variazione di temperatura a pressione e umidità costanti. Le grandezze di interesse, i sensori necessari e la durata<sup>1</sup> dei test è riportata in Tabella 3. Per ciascun scenario e atmosfera di riferimento, i protocolli di test indicano:

- Elementi da testare
- Elementi esclusi dal test
- Approccio di test
- Rischi associati ed altre note

Il dettaglio dei protocolli di test è in Tabella 4.

Test	Grandezze di interesse	Sensori	Durata del test
UC1.1	Spinta, coppia, corrente elettrica assorbita	Cella di carico 6 assi Sensore di velocità angolare (ottico e/o elettrico) Sensore di temperature (sensore puntuale e/o termocamera) Amperometro	7 h 30 min
UC1.2			1 h 50 min
UC1.3			6 h 30 min
UC1.4			2 h 15 min
UC2.1	Spinta, coppia, corrente elettrica assorbita, rumore	Cella di carico 6 assi Sensore di velocità angolare (ottico e/o elettrico) Sensore di temperature	7 h 30 min
UC2.2			1 h 50 min
UC2.3			

<sup>1</sup> Considerando i grandi riportati in <https://terraxcube.eurac.edu/about-us/#structure> e durata di test di 5 min per UC1 e UC2. Per UC3 si considera una durata di test pari a 10 min.

# DronEx - FESR1048

		(sensore puntuale e/o termocamera)	6 h 30 min
UC2.4		Amperometro Microfono	2 h 15 min
UC3.1	Posizione, velocità, accelerazioni, assetto, consumi	Sistema di navigazione indoor <sup>2</sup> Le grandezze di interesse possono essere estratte dai log di volo registrati nella memoria SD dell'autopilota	8 h 20 min
UC3.2			2 h 50 min
UC3.3			7 h
UC3.4			3 h 10 min
UC4.1	Tensione elettrica	Multimetro	Da valutare in funzione della capacità delle batterie sotto test (Rateo di scarica massimo 2A)
UC4.2			
UC4.3			

Tabella 3 - Grandezze di interesse, sensori e durata del test

Test	Elementi testati	Elementi NON testati	Approccio di test		Rischi associati e altre note
			Aspetti generali	Aspetti specifici	
UC1.1	ESC Motore Elica	Batteria Autopilota	1. Ancoraggio degli elementi da testare al banco prova 2. Verifica del funzionamento del sistema di acquisizione dei dati 3. Settaggio delle condizioni ambientali e stabilizzazione della camera 4. Acquisizione dei dati in condizioni ambientali statiche: spegnimento del sistema di acquisizione dati durante i	Il test può essere svolto in più giorni suddividendo le temperature target tra temperature calde e temperature fredde.	Possibile danneggiamento dell'elica (infragilimento da bassa temperatura e/o stress termico). Possibile surriscaldamento e danneggiamento del regolatore di velocità ad alta temperatura
UC1.2				Raggiungimento della quota massima (9000 m) desiderabile per evidenziare il ruolo della pressione nella generazione della spinta.	-
UC1.3				-	-
UC1.4				Temperatura e umidità relative di riferimento in fase di definizione	Possibile surriscaldamento e danneggiamento del regolatore di velocità ad alta temperatura

<sup>2</sup> In fase di definizione

# DronEx - FESR1048

UC1.5			transitori ambientali 5. Settaggio del numero di giri del motore. Registrazione dei dati di spinta, coppia e potenza concluso il transitorio. Settaggio del numero di giri successivo fino al raggiungimento del valore massimo; ripresa dei test dal punto 3. Raggiunte le condizioni climatiche di estremo, le misure vengono ripetute per riportare il simulatore alle condizioni iniziali ed evidenziare eventuali fenomeni di isteresi	Atmosfera standard di riferimento per confronto con pubblicazioni internazionali	Possibile danneggiamento dell'elica (infragilimento da bassa temperatura e/o stress termico)
UC2.1	ESCs Motori Eliche	Batteria Autopilota	Considerazioni analoghe a quanto riportato per UC1.	Rispetto a UC1, si acquisisce anche il rumore generato dai rotori a distanze e angoli definiti	Considerazioni analoghe a quanto riportato per UC1
UC2.2				Come per UC2.1	
UC2.3				-	
UC2.4				Come per UC2.1	
UC3.1	UAV completo (ESC, Motori, Eliche, Autopilot)	-	1. Settaggio delle condizioni ambientali e prima stabilizzazione della camera	Come per UC1	Protezione dell'operatore che sistema la piattaforma in camera dalle condizioni di temperatura estreme (freddo e caldo)



# DronEx - FESR1048

	a, Batteria)		2. Sistemazione della piattaforma UAV in camera		
UC3.2			3. Seconda stabilizzazione della camera		-
UC3.3			4. Esecuzione del test di volo in modalità semiautomatica con pilota in camera di controllo		-
UC3.4			5. ripresa dei test dal punto 1. Raggiunte le condizioni climatiche di estremo, le misure vengono ripetute per riportare il simulatore alle condizioni iniziali ed evidenziare eventuali fenomeni isteretici		Protezione dell'operatore che sistema la piattaforma in camera dalle condizioni di temperatura estreme (freddo e caldo)
UC4.1			1. Posizionamento di quattro batterie di uguale capacità nei compartimenti della camera climatica <i>Small Cube</i>		-
UC4.2	Batteria	ESCs Eliche Autopilota	2. Collegamento al sistema di scarica controllata		-
UC4.3			3. Settaggio delle condizioni ambientali di test		-
			4. Esecuzione del test		-

Tabella 4 - Protocolli di test

## Note conclusive

Dal primo confronto con le aziende del territorio è emersa la necessità di eseguire test per la caratterizzazione delle grandezze meccaniche, elettriche e termiche dei sistemi UAV. In particolare si sono delineati due scenari di utilizzo particolarmente interessanti nell'ambito industriale (UC1 e UC2). Nonostante i costruttori intendano soffermarsi prevalentemente sull'effetto della quota (pressione) e della temperatura, i test del progetto DronEx non possono essere definiti trascurando il ruolo combinato di entrambe le grandezze ambientali. L'adozione del modello Atmosfera Internazionale Standard (ISA)

garantisce un ambiente climatico accettato dalla comunità scientifica come base di riferimento. La principale limitazione del modello ISA è l'impossibilità di valutare gli effetti del cambiamento delle stagioni, dell'umidità e particolari condizioni climatiche che si allontanano dal comportamento medio annuale della troposfera. A tal fine si è ritenuto opportuno inserire un test mirato ad approfondire gli effetti dell'umidità in prossimità delle temperature di condensazione. Le variazioni stagionali rispetto ai valori di temperatura calcolati dal modello ISA possono essere introdotte considerando intervalli di temperature centrati sulla temperatura ISA, ottenendo un fascio di curve che meglio descrivono le caratteristiche atmosferiche reali. A tal fine, un'indagine sulle caratteristiche atmosferiche locali permetterebbe la definizione di un modello atmosferico fortemente rappresentativo dell'ambiente alpino in cui i costruttori operano.

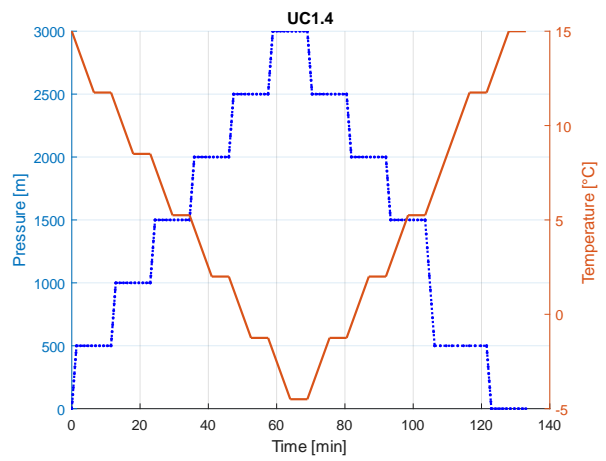
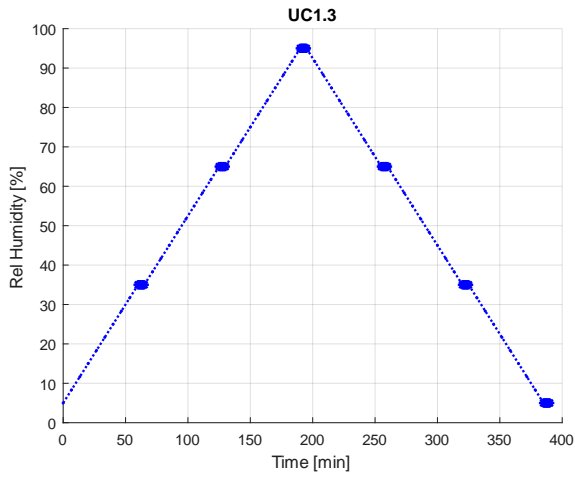
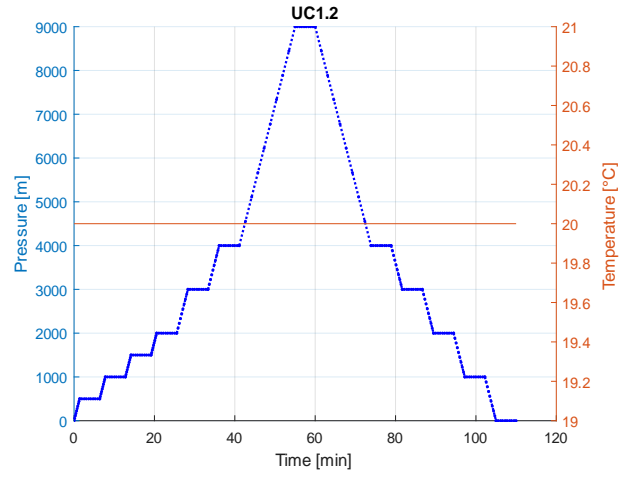
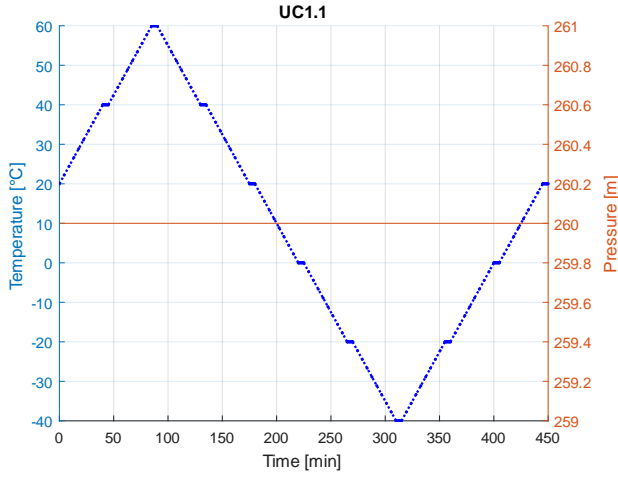
I protocolli di test per UC1 e UC2 sono analoghi con l'unica differenza per UC2 della caratterizzazione acustica della macchina completa al banco. Per UC3, la difficoltà tecnica maggiore è la realizzazione di un sistema di navigazione indoor che non alteri le caratteristiche di funzionamento dell'autopilota, garantendo un comportamento della macchina il più possibile fedele a quello reale. La necessità di un sistema di navigazione indoor nasce dall'esigenza di eseguire prove di volo in modalità automatiche, permettendo la ripetibilità delle prove. Sono state considerate diverse soluzioni tecniche, valutando l'invasività per la facility *terraXcube* e i costi da sostenere a fronte della precisione del sistema. Il sistema target da impiegare per UC3 verrà definito durante la prima serie di test (UC1 e UC2), a valle di più approfondita e ragionata delle soluzioni industriali e di ricerca disponibili.

La sicurezza degli operatori è per UC1 e UC2 è garantire dall'esecuzione dei test in sala di controllo. Nel caso di UC3, è necessario l'intervento in camera del pilota (qualora si renda necessario un test in modalità di volo manuale) e/o di un operatore opportunamente addestrato per la sistemazione della piattaforma.

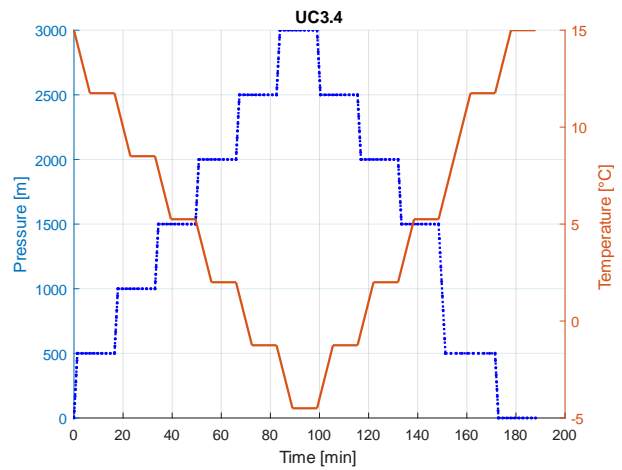
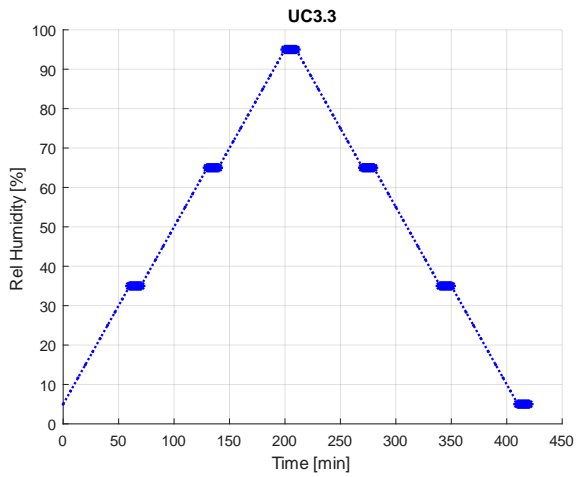
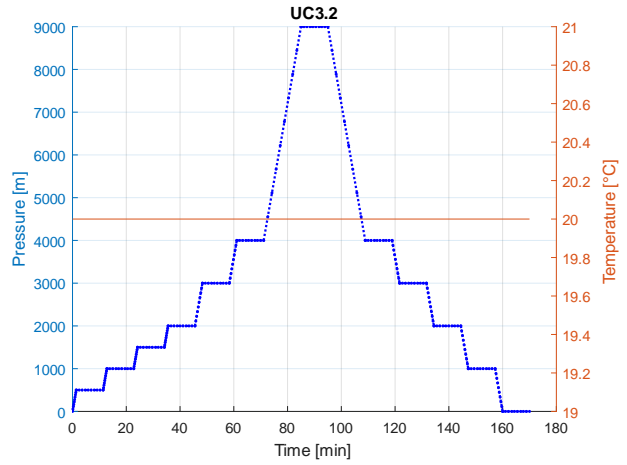
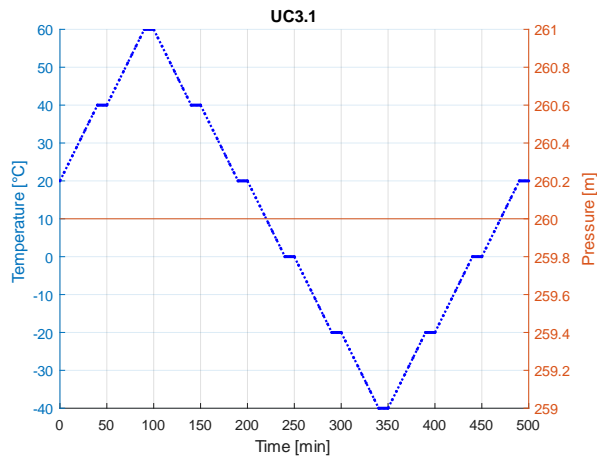
Si noti che i protocolli di test saranno oggetto di un processo iterativo finalizzato a migliorare le problematiche sollevate nelle prime fasi di test grazie al feedback delle aziende partner di progetto. Non si esclude la possibilità di confrontare i protocolli di test con analoghi protocolli utilizzati in campo automobilistico, quali modello di riferimento per lo sviluppo e la definizione di procedure standardizzate a livello industriale.

Allegati

Time-history delle grandezze climatiche per UC1,UC2



Time-history delle grandezze climatiche per UC3



La Time-History delle grandezze climatiche per UC4 verrà qualora lo scenario di utilizzo venga attivato.