

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

*Relazione per la prova finale*

***I sistemi di riciclo dell'acqua e dell'aria  
nella Stazione Spaziale Internazionale***

Tutor universitario: Prof.ssa Roberta Bertani

*Laureanda: Angela Vanzin*

Anno accademico 2021-2022

L'elevato costo di spedire le risorse vitali per l'equipaggio nella Stazione Spaziale Internazionale (ISS) dalla terra ha spinto, nell'ultimo decennio, alla progettazione di un sistema in grado di riciclare acqua e aria da tutte le fonti di scarto biologiche presenti a bordo del veicolo spaziale.

*Environmental Control and Life Support System (ECLSS)* sistema di supporto vitale rigenerativo nella ISS costituito da tre componenti:

- *Water Recovery System (WRS)*
- *Air Revitalization System (ARS)*
- *Oxygen Generation System (OGS)*

## **Water Recovery System (WRS)**

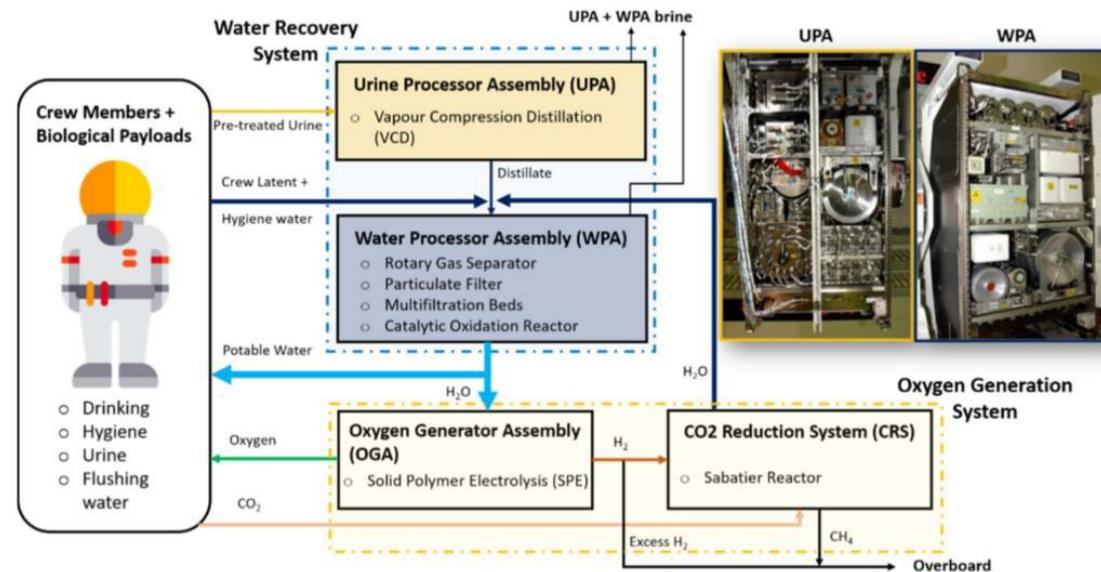
Sistema che fornisce acqua depurata a partire dalle acque reflue presenti nella ISS, inclusa l'acqua dall'urina degli astronauti, il sudore, l'umidità condensata nella cabina e l'acqua presente nel sistema di idratazione nelle tute per le attività extra veicolari.

Il WRS riesce a riciclare e recuperare il 90% dell'acqua nella stazione.

Il WRS è diviso in due moduli:

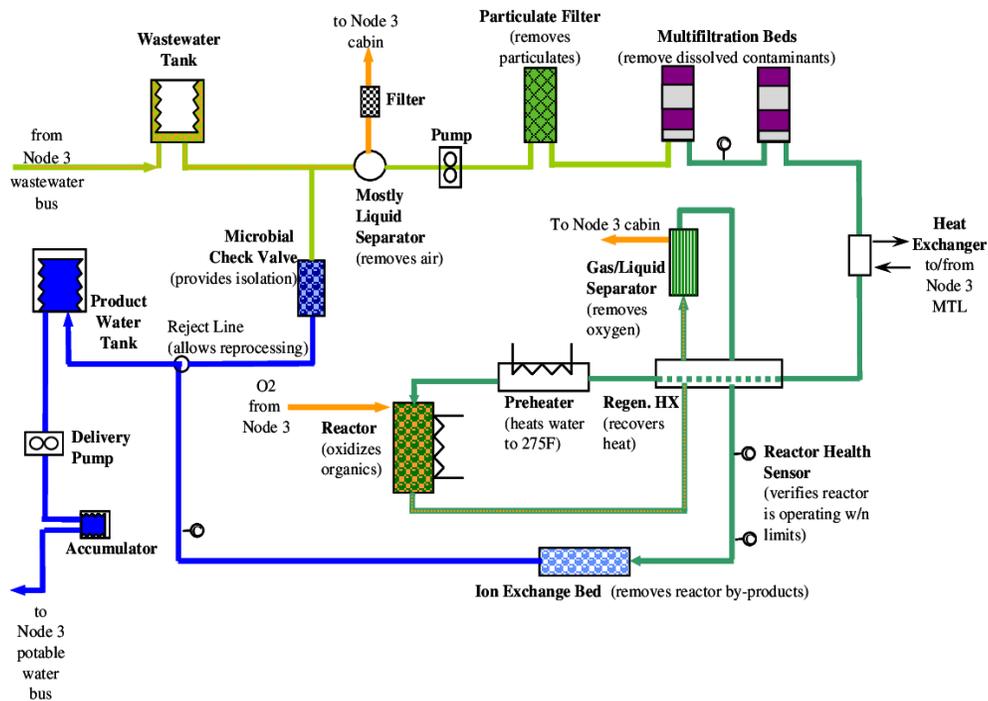
- Water Processor Assembly (WPA)
- Urine Processor Assembly (UPA)

Il condotto delle acque reflue della ISS riceve la condensa dell'umidità dalla *Common Cabin Air Assemblies*, l'acqua distillata dall'UPA e riceve dal *Carbon Dioxide Reduction System*, sistema che riduce CO<sub>2</sub> a partire dalla **reazione Sabatier** che ha come prodotto l'acqua:  $CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$



A questo punto le acque reflue sono inviate nel *Waste Water Tank* del WPA

## - Water Processor Assembly



Dal Wastewater Tank, l'acqua e il gas sono inviate nel Mostly Liquid Separator dove il gas è rimosso dall'acqua di scarto, che passa nel Separator Filter per togliere le particelle contaminanti dall'aria.

Successivamente l'acqua è pompata attraverso il Particulate Filter seguito da due strati multi filtrazione dove i contaminanti inorganici e meno volatili vengono rimossi.

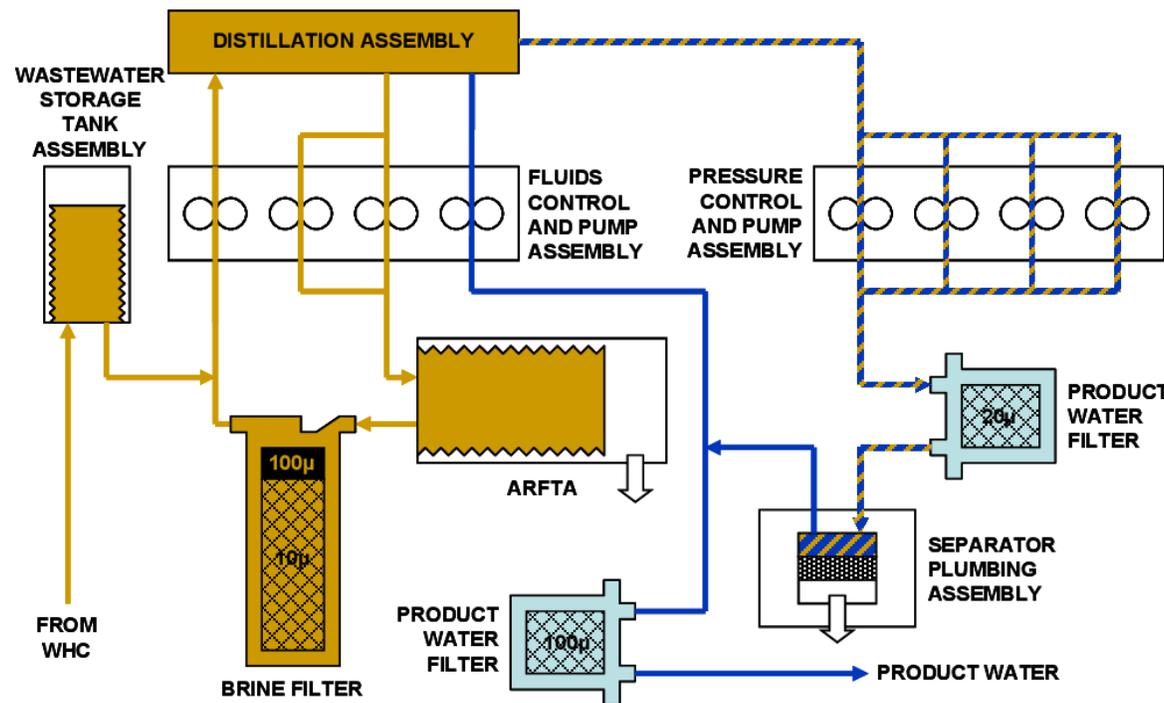
Poi, il flusso d'acqua entra nel Catalytic Reactor, dove le particelle organiche vengono ossidate in presenza di ossigeno ed elevate temperature. Uno scambiatore di calore rigenerativo recupera il calore dall'acqua di scarico del Catalytic Reactor, per rendere questo procedimento più efficiente.

Il Gas Separator rimuove l'eccesso di ossigeno e lo fa ritornare in cabina, mentre Il *Reactor Health Sensor* controlla la conduttività dello scarico del reattore come indicatore del fatto che il carico organico che entra nel reattore deve rientrare nella capacità ossidativa dello stesso.

Infine, l'*Ion Exchange Bed* rimuove i prodotti disciolti dell'ossidazione e aggiunge iodio per il controllo microbico.

Successivamente, l'acqua è immagazzinata nel *Water Storage Tank* prima di essere inviata nel condotto dell'acqua potabile.

## - Urine Processor Assembly



La composizione dell'urina pretrattata, oltre ad includere urina e acqua di scarico, contiene anche una formula di pretrattamento contenente triossido di cromo  $\text{CrO}_3$  e acido solforico  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , per controllare la crescita microbica e la reazione che trasforma l'urea  $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$  in ammoniaca  $\text{NH}_3$ , l'idrolisi dell'urea: essa avviene tramite un passaggio intermedio che forma carbammato d'ammonio  $\text{H}_2\text{NCOONH}_4$  (urea + acqua)

$$\text{CH}_4\text{N}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NH}_3 + \text{CO}_2$$

Nell'immagine si vedono i passaggi che l'urina fa nel processore

L'UPA è stato progettato per recuperare l'85% del contenuto d'acqua dalle urine pretrattate

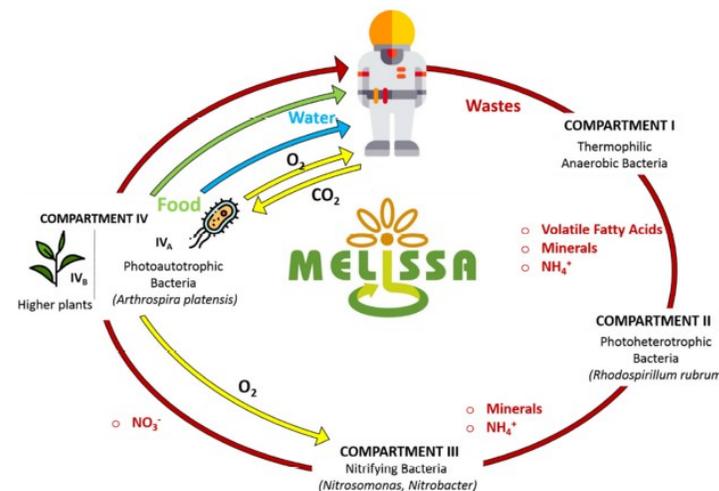
Il WRS è un sistema affidabile per il riciclo dell'acqua sulla ISS, che ha costantemente garantito la qualità dell'acqua potabile, tuttavia ha riscontrato diverse anomalie che devono essere tenute in considerazione per le missioni future:

- L'assenza di gravità altera la dinamica dei fluidi e aumenta l'impatto dei particolati sulle prestazioni del sistema
- Il recupero d'acqua del sistema è fortemente influenzato dall'alto contenuto di calcio nelle urine dell'equipaggio, che è la causa delle precipitazioni di solfato di calcio nel Distillation Assembly dell'UPA -> corrosione nel sistema di distillazione

## Recupero dei nutrienti e MELiSSA Project

Dal 50% al 64% dei rifiuti di azoto sulla ISS provengono dall'urina dell'equipaggio e il suo riutilizzo come fonte di nutrimento sarà necessario, ad esempio trasformando l'urina in fertilizzante per la coltura idroponica

Il progetto dell'ecosistema *Micro-Ecological Life Support System Alternative* (MELiSSA) «Closed Loop» tenta di "terraformare" uno spazio precedentemente inabitabile



## **Air Revitalization System (ARS)**

- Controllo della temperatura e dell'umidità
  - Fornitura e controllo dell'ossigeno
- Rimozione dell'anidride carbonica e contaminanti
- Riduzione dell'anidride carbonica per il recupero dell'ossigeno

L'ARS è diviso in due moduli:

- *Oxygen Generation System (OGS)*
  - *Air Revitalization Rack (AR)*

## - **Oxygen Generation System**

- **Oxygen Generation Assembly (OGA):** gruppo di generazione dell'ossigeno  
Esso elettrolizza l'acqua del WRS per produrre l'ossigeno per l'equipaggio e alimenta il CRA con l'idrogeno prodotto dalla reazione
- **Carbon dioxide Reduction Assembly (CRA):** gruppo di riduzione dell'anidride carbonica  
In esso anidride carbonica e idrogeno reagiscono per formare metano  $\text{CH}_4$  (fuori bordo) e acqua (torna all'OGA) attraverso la reazione Sabatier

## - **Air Revitalization Rack**

- **Carbon Dioxide Removal Assembly (CDRA):** gruppo di rimozione dell'anidride carbonica  
Esso accumula e concentra l'anidride carbonica, e alimenta con essa il CRA

## Analisi dell'Oxygen Generation Assembly

La sintesi dell'ossigeno è composta da un ammasso di celle che elettrolizzano l'acqua proveniente dal WRS, rilasciando ossigeno e idrogeno come prodotti.

L'ossigeno è inviato all'abitacolo, mentre l'idrogeno è eliminato nello spazio o recuperato per la riduzione della CO<sub>2</sub>, attraverso la reazione Sabatier che produce come materiale di scarto il metano, rilasciato poi nello spazio, e l'acqua, riutilizzata dall'equipaggio.

L'acqua che entra nell'OGA viene rimossa dello iodio precedentemente aggiunto per il controllo microbico nello strato di deionizzante di immissione DI, che funge anche da collante tra le bolle gassose di ossigeno, poiché se vengono riconosciute, vengono respinte da una valvola a tre vie al condotto delle acque reflue. In questo modo l'ossigeno non può miscelarsi con l'idrogeno prodotto nel Rotary Separator Accumulator.

L'acqua viene elettrolizzata da una pila di celle per produrre ossigeno e idrogeno. L'acqua viene poi fatta ricircolare dalla pompa volumetrica ORU. A valle della pompa c'è un filtro a scambio ionico a carbone attivo, *Activated Carbon Ion Exchange (ACTEX) filter*.

L' ACTEX è un deionizzatore a strato misto, che rimuove il fluoruro generato dalla pila di celle e altri contaminanti. Lo scambiatore di calore rimuove il calore generato dalla pila di celle, dall'RSA e dalla pompa. L'idrogeno gassoso separato dall'RSA viene inviato al gruppo di riduzione dell'anidride carbonica Sabatier, *Sabatier Carbon Dioxide Reduction Assembly*.

## Sintesi chimica del cibo dall'anidride carbonica

Come per l'acqua, spedire il cibo nello spazio ha un costo molto elevato

Soluzione: creare cibo in loco

Le piante coltivate nello spazio sono soluzioni limitanti

Per le missioni future: *Non-Biological Syntesis* (NBS) sintesi chimica per ottenere macronutrienti del cibo a partire da solo acqua e anidride carbonica

Sintesi degli zuccheri attraverso formaldeide-> ma via molto complessa

Sintesi del glicerolo-> molto più fattibile ed in via di sviluppo



E' giusto sottolineare l'importanza della reazione Sabatier, reazione chiave che rende possibile il riciclo di acqua e aria sulla ISS.

Dal 2008 Water Recovery System e Air Revitalization System sono montati a bordo della ISS e hanno permesso di risparmiare milioni di dollari per la spedizione delle fonti primarie sulla stazione.

Attraverso questi due sistemi, inoltre, è stato possibile limitare il consumo di carburante per il trasporto vero e proprio dalla terra dei beni essenziali, dando un'impronta più ecologica alle missioni spaziali.

Grazie per l'attenzione!

- [1] BARBAROSSA V., VANGA G., BATTIPAGLIA G. (ENEA), *Studio e sperimentazione di processi chimico-fisici di trattamento e conversione del syngas*, [Versione PDF]  
<[https://www.enea.it/it/Ricerca\\_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/carbone-pulito-e-ccs/RdS322.pdf](https://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/carbone-pulito-e-ccs/RdS322.pdf)>
- [2] EUROPEAN SPACE AGENCY ESA, *Oxygen Generation System Rack*, <<https://tinyurl.com/mww44a7a>>
- [3] GARCIA MARTINEZ Juan B. et al., *Chemical synthesis of food from CO2 for space missions and food resilience*, in «Journal of CO2 Utilization», 53(2021), DOI:  
<https://doi.org/10.1016/j.jcou.2021.101726>
- [4] HENDRICKS Larissa et al., *Microbial ecology of the closed artificial ecosystem MELiSSA: Reinventing and compartmentalizing the Earth's food and oxygen regeneration system for long-haul space exploration missions*, in «Research in Microbiology», 157(1), 77-86, DOI: 10.1016/j.resmic.2005.06.014
- [5] McAULIFFE-SHEPARD DISCOVERY CENTER, *Distance Learning Module: Recycling Water in Space*, <<https://tinyurl.com/4u6nvfyx>>
- [6] MURDOCK K., *Integrated Evaluation of Closed Loop Air Revitalization System Components*, [Versione PDF]  
<<https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20100042325/downloads/20100042325.pdf>> ,
- [7] NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION NASA, *Environmental Control and Life Support System (ECLSS)*, [Versione PDF]  
<[https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/g-281237\\_eclss\\_0.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/g-281237_eclss_0.pdf)>
- [8] PRUITT Jennifer M. et al., *Upgrades to the ISS Water Recovery System*, [Versione PDF]  
<<https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20150019533/downloads/20150019533.pdf>>, Atti del 45th International Conference on Environmental Systems, Bellevue, Washington, 12-16 luglio 2015
- [9] TAKADA Kevin et al., *Advanced Oxygen Generation Assembly for Exploration Mission*, [Versione PDF]  
<<https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20190030425/downloads/20190030425.pdf>>, Atti del 49th International Conference on Environmental Systems, Boston, Massachusetts, 7-11 luglio 2019
- [10] VOLPIN Federico et al., *Urine Treatment on the International Space Station: Current Practice and Novel Approaches*, in «Membranes 2020», 10(11), 327, DOI:  
<https://doi.org/10.3390/membranes10110327>