

STUDIO E REALIZZAZIONE DI IMPIANTI DI PRODUZIONE DI BIOMASSA MICROALGALE

Ing. Casini David
D. Chiaramonti



ALGAE EVENT – PROSPETTIVE DI PRODUZIONE ED UTILIZZO DELLE ALGHE

7 NOVEMBRE 2017

SALA MIMOSA 2 – PAD B6, ECOMONDO RIMINI FIERA

STUDIO E REALIZZAZIONE DI IMPIANTI

- STATO DELL'ARTE: IMPIANTI PRODUTTIVI
- CRITICITÀ E CRITERI DI PROGETTAZIONE DELLE RWP
- IL PROGETTO MAMBO
- IL PROGETTO BIOFAT
- IL PROGETTO ALGAEFUELS
- OBIETTIVI RAGGIUNTI E MODIFICHE PROPOSTE
- PUBBLICAZIONI



MAMBO MICROALGAE AS RAW MATERIAL FOR BIO-OIL

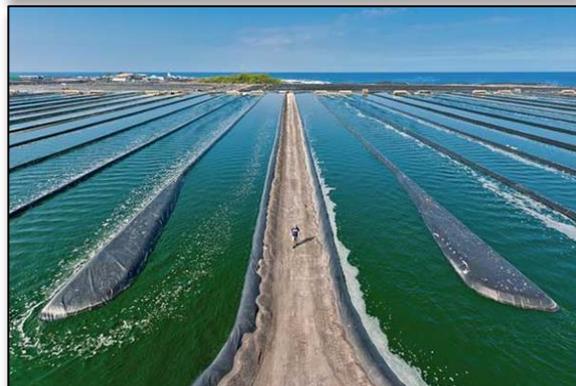


BIOFAT BIOFUEL FROM ALGAE TECHNOLOGIES



ALGAEFUELS MICROALGAE FOR BIOENERGY





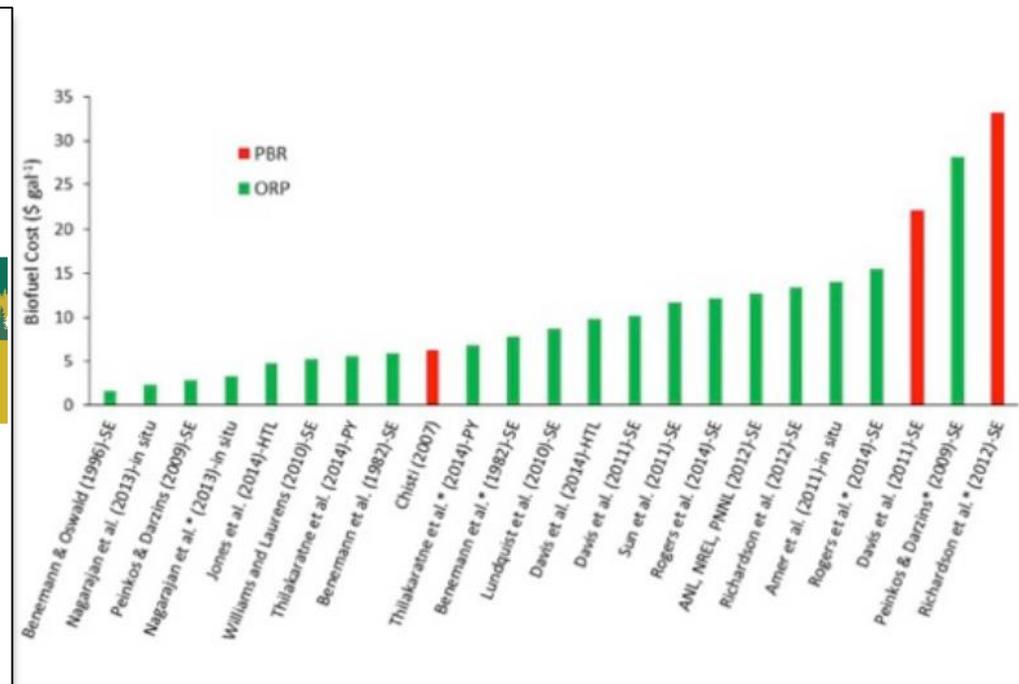
State of Technology Review – Algae Bioenergy

An IEA Bioenergy Inter-Task Strategic Project

Image of climate simulating photobioreactor growing microalgae under controlled light, CO₂, and temperature. Image by Dennis Schroeder, NREL (#25228)

IEA Bioenergy

Published by IEA Bioenergy, Task 30, January 2017



	Total	Europe	North America	Asia	Oceania	Middle East
Commercial	306	166	105	26	2	7
PBR	50	32	14	1	N/A	3
Raceway	50	32	11	4	1	2
Combined PBR and Raceway	12	5	7	N/A	N/A	N/A
Fermentation	13	4	5	4	N/A	N/A
Unknown cultivation method	160	85	55	17	1	2
Suppliers	21	8	13	N/A	N/A	N/A
Research	94	50	27	9	5	3
Total	400	216	132	35	7	10
Shut operations	50	28	22	N/A	N/A	N/A



ABO
ALGAE BIOMASS ORGANIZATION

Algae Industry Project Book 2015

Why Algae?

Algae have the power to simultaneously put both in our vehicles, reduce CO₂ provide nutrition for animals and people and create jobs for millions of Americans.

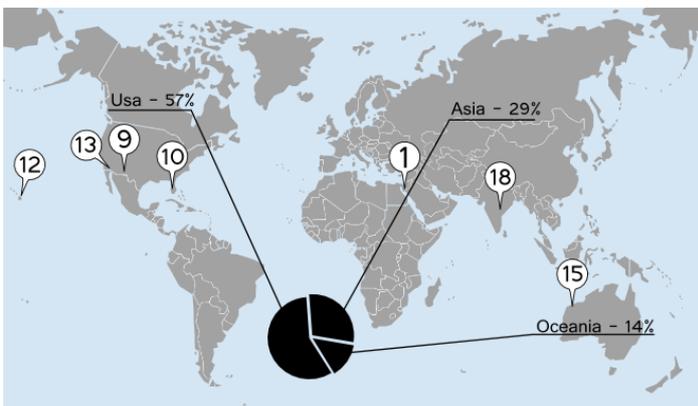
Algae Fuels, Feed and More

Algae is a renewable source of deep-sea food, fertilizers, nutritional oils and pharmaceuticals. They can provide more water treatment and solar remediation services. New applications are currently being discovered.

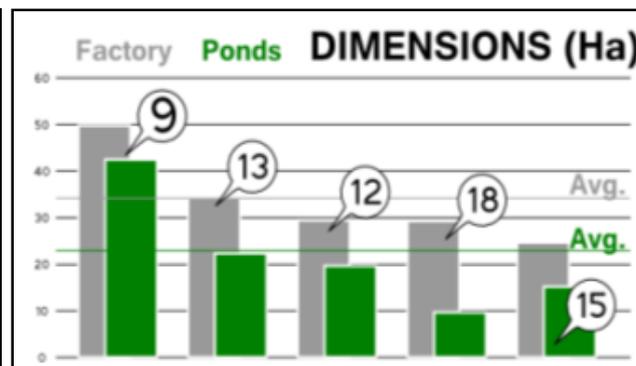
Updated July 2015

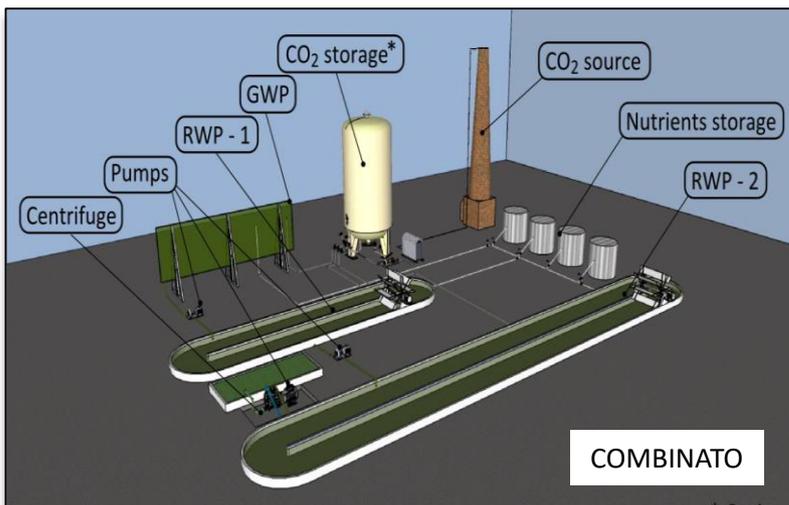


STATO DELL'ARTE – IMPIANTI PRODUTTIVI INVESTIGATI



Company	Location	Website	Plant
Algatech	Israel	algatech.com	1
Sapphire Energy	San Diego, California, Usa	sapphireenergy.com	9
Algenol Biofuels	Florida, Usa	algenolbiofuels.com	10
Cyanotech	Hawaii, usa	cyanotech.com	12
EarthRise	Usa	earthrise.com	13
Aurora inc	Usa / Australia	aurorainc.com	15
Parry Nutraceuticals	India, Unayiur	parrynutraceuticals.com	18





CARATTERISTICHE IMPIANTO

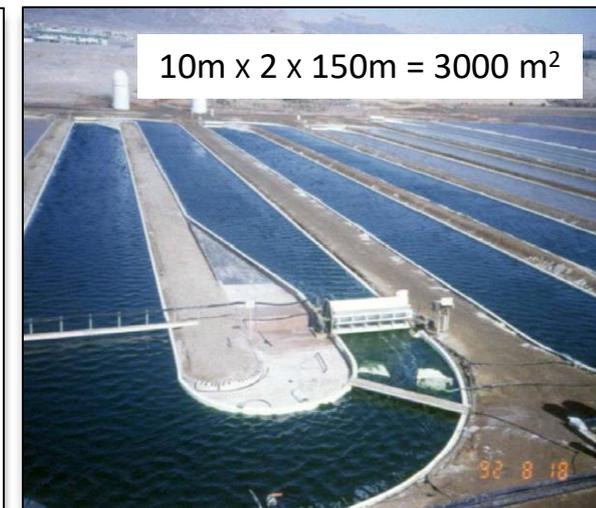
SUPERFICIE DI IMPIANTO MEDIA → **33.6 ha**

SUPERFICIE MEDIA PER LE VASCHE → **22 ha**

PERC. AREA PER OPEN PONDS → **65.5 %**

NUMERO MEDIO DI VASCHE → **50**

TIPOLOGIA DI VASCHE → **RACEWAY POND**



CARATTERISTICHE DELLE RWP

ESTENSIONE VASCHE: **1500 - 13000 m²** – MEDIA **4500 m²**

LUNGHEZZA: **100 - 300 m** – MEDIA **200 m**

LARGHEZZA: **10 - 50 m** – MEDIA **25 m**

RAPPORTO L/B: **10-30** – MEDIA **22.5**

NUMERO DI CANALI PER VASCA: **2 - 4** - PIÙ COMUNE **2**

ALTEZZA COLTURA: **15 - 50 cm** – SOLITAMENTE **25 cm**

VELOCITÀ IN VASCA: **10 - 30 cm/s**



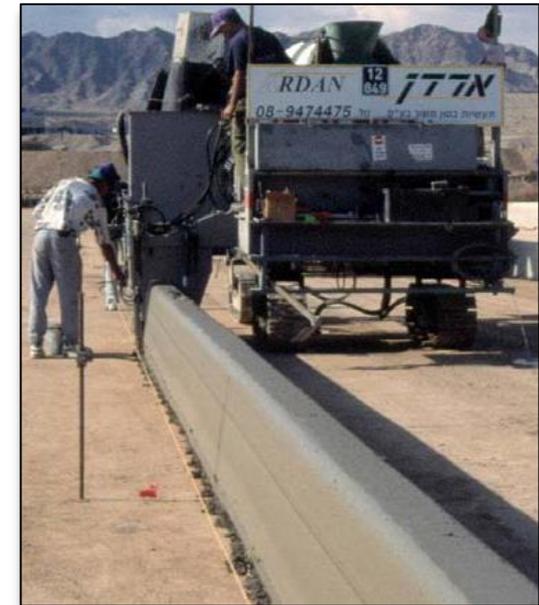
▪ POSIZIONAMENTO IMPIANTO E TIPOLOGIA DEL SUOLO

MOLTA ACQUA → ZONA COSTIERA, ACQUA SALATA

RACEWAY → GRANDE AREA PIANEGGIANTE, SOLEGGIATA E TEMPERATA

PREPARAZIONE SUOLO → ARGILLOSO (NO LINER), STABILIZZATO, ETC.

ALTRI MATERIALI DA COSTRUZIONE → FORATINI, CEMENTO, ASFALTO, ETC.



▪ ACQUA

DAL MARE → SISTEMA DI FILTRAGGIO E STERILIZZAZIONE UV

EVAPORAZIONE → ACQUA DOLCE IN ELEVATI VOLUMI

(A UNA VASCA DA 3000 m² POSSONO SERVIRE CIRCA 30 m³/GIORNO)

ELEVATI VOLUMI DA SPOSTARE → EFFICIENZA, LOGISTICA, RICICLO DEI FLUSSI

VASCHE DEVONO ESSERE FACILMENTE SVUOTATE E LAVATE → DESIGN VASCA, LINER

■ COPERTURA – LINER

NUMEROSI MQ → DEVE ESSERE ECONOMICA

APPLICAZIONE → ORE UOMO, SOSTITUZIONE, SALDABILE

RESISTENZA → CALPESTABILE, SFORZI DI TAGLIO, SPESSORE

FLUSSO → SUPERFICIE LISCIA

VASCHE VUOTE → RESISTENTE UV, BASSA DILATAZIONE TERMICA

RESISTENZA CHIMICA → ACQUA SALATA, PH, FOOD-GRADE

■ MOVIMENTAZIONE E PW

SOLUZIONE COMUNE → PADDLE WHEEL

EFFICIENZA CIRCOLAZIONE → PW RICHIEDONO CIRCA 1 W/m² (RANGE 0,5-1,5), A CIRCA 5-30 RPM

COSTO REALIZZAZIONE E MANUTENZIONE → MEDIO-ALTO

RISCHIO SEDIMENTAZIONE → VELOCITÀ DEL FLUSSO ADEGUATA, NO ZONE DI RISTAGNO

STUDIO IDRODINAMICO DELLA VASCA → RUGOSITÀ SUPERFICIE, PROBLEMI NELLE CURVE, BAFFLE BOARDS ADEGUATE

None, leak

Clay, leak, anaerobic areas

Concert, break

Asphalt, disintegrate

Fiberglass, expensive

Rubber, ??

High density polyethylene (HDPE), break, high temperature expansion coefficient

Polyethylene, ok, low "n" but welding problem

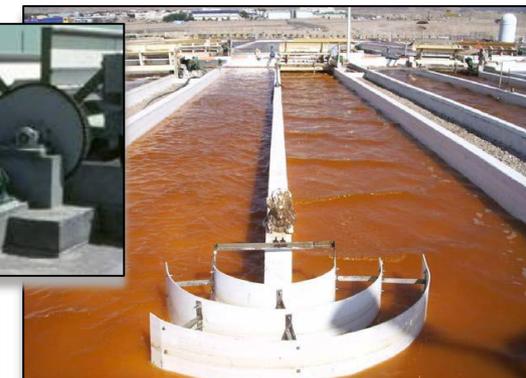
Polypropylene, ok, low "n"

PVC (technical grade, food grade), ok, low "n"

PVC, Geo-textile underline, may be needed

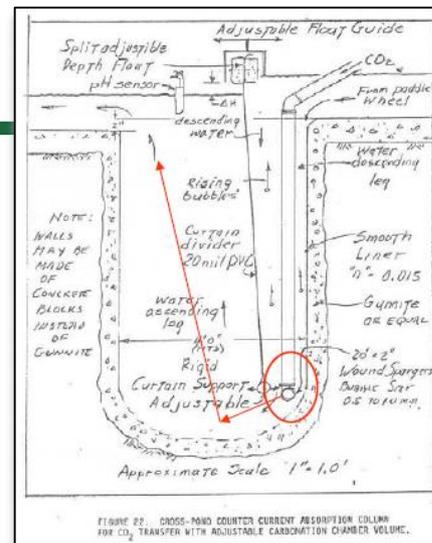
PVC, UV resistance, ease of maintenance, simple welding, durable

➤ Key issues in paddle wheel design is **h/r ratio, rotational speed and the number of blades.**



ANIDRIDE CARBONICA

- GRATUITA → DA CENTRALE ELETTRICA, MOTORI CHP, ETC.
- ELEVATE PORTATE → SORGENTE PROSSIMA L'IMPIANTO
- GAS ESAUSTI → ($\approx 12\%$ CO₂ V/V), FILTRAGGIO E BLOWER NECESSARI
- BASSA EFFICIENZA DI CARBONATAZIONE → DIFFUSORI IDONEI, ELEVATI BATTENTI O SOLUZIONI IMPIANTISTICHE IDONEE
- DIFFUSORI → IDONEI AL FUNZIONAMENTO INTERMITTENTE, ECONOMICI, BASSA MANUTENZIONE



ALGAEPARC (NL)

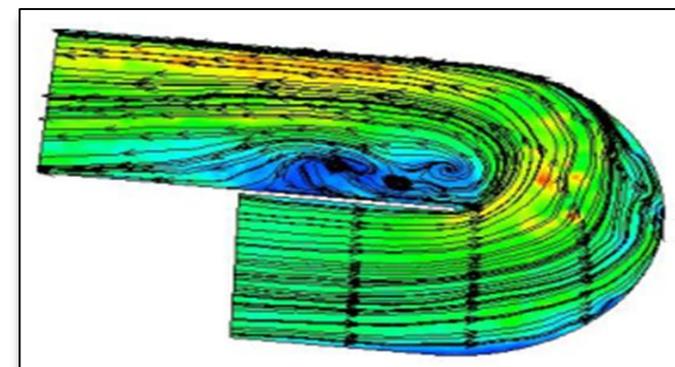
MIXING

- NECESSARIO PER EVITARE FOTOINIBIZIONE E FOTOLIMITAZIONE
- OGNI TECNOLOGIA DEVE GARANTIRE LA MIGLIORE SOLUZIONE IN TERMINI DI PROCESSO DI PER GARANTIRE LE MIGLIORI CONDIZIONI DI VITA (EFFICIENZA FOTOSINTETICA) AL MEZZO DI COLTURA, PER OTTENERE LA FREQUENZA OTTIMALE PER IL CICLO LUCE-BUIO DELLE PARTICELLE DI ALGHE → NUMERO DI REYNOLDS ≠ RIMESCOLAMENTO VERTICALE → CFD 3D

Reactor	Raceway pond	Horizontal tubular	Vertical stacked tubular	Flat panels
Photosynthetic efficiency (% sunlight)	1.2	1.5	2.4	2.7

RISPARMIO ENERGETICO – EFFICIENZA

- STUDI IDRAULICI DELLA VASCA → MODIFICHE PROGETTUALI ADEGUATE (DOPO CFD)
- ACCURATA SCELTA DEI COMPONENTI E DEI MATERIALI → PW, LINER, BAFFLE BOARDS, SENSORI (PH, LIVELLO VASCHE E SERBATOI, CO2)
- AUTOMAZIONE E SISTEMA DI CONTROLLO REMOTO → PER POMPE, APERTURA CHIUSURA VALVOLE, SOFFIANTE, SICUREZZA



UNO DEI PRINCIPALI VANTAGGI DELLE RWP È CHE SONO PIÙ FACILI ED ECONOMICHE DA COSTRUIRE E GESTIRE. TUTTAVIA, LE PRINCIPALI CRITICITÀ DEGLI IMPIANTI CHE UTILIZZANO RWP INCLUDONO:

- LA **SCARSA EFFICIENZA FOTOSINTETICA** DELLE CELLULE CHE A CAUSA DI UN SISTEMA DI **MOVIMENTAZIONE DEL MEZZO INEFFICIENTE**, CON UN TASSO DI MISCELAZIONE MOLTO SCARSO, NE CONSEGUONO UNA **BASSA PRODUTTIVITÀ DELLA BIOMASSA**.
- LA **MINORE DENSITÀ DELLA COLTURA** RISPETTO AI PBR COMPORTA **ELEVATI VOLUMI DI ACQUA DA GESTIRE**, SPOSTARE E STOCCARE NELLA FASE PRODUTTIVA, NONCHÉ NELLE FASI SUCCESSIVE PER LA LAVORAZIONE DELLA BIOMASSA.
- I **VOLUMI EVAPORATI GIORNALMENTE PREVEDONO UN REINTEGRO DI ACQUA DOLCE** PER NON AUMENTARE LA SALINITÀ DEL MEZZO IN VASCA
- UNA **BASSA EFFICIENZA DI CARBONATAZIONE**, DOVUTA ANCHE AD UNA LIMITATA ALTEZZA DEL PELO LIBERO, FAVORISCONO LA DIFFUSIONE DELLA CO₂ NELL'ATMOSFERA.
- NECESSARIE **AMPIE SUPERFICI DI COLTIVAZIONE**, DI CONSEGUENZA GRANDI VOLUMI DI MATERIALE PER LA REALIZZAZIONE CHE NECESSITANO DI ESSERE SCELTI ANCHE DAL PUNTO DI VISTA DELLA **SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE**.
- INFINE, LA **CONTAMINAZIONE** DA PREDATORI E DA ALTRI ETERTROFI IN RAPIDA CRESCITA HA LIMITATO LA PRODUZIONE COMMERCIALE DI ALGHE IN SISTEMI DI COLTURA ALL'APERTO SOLO A QUEGLI ORGANISMI CHE POSSONO CRESCERE IN CONDIZIONI ESTREME (AD ESEMPIO, NANNOCHOROPSIS S., CHLORELLA, TETRASELMIS S., ECC.).



PROGETTO MAMBO

MICROALGAE AS RAW MATERIAL FOR BIO-OIL



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE



OBIETTIVO DEL PROGETTO MAMBO, CONCLUSO NEL 2011, ERA DI DIMOSTRARE LA **FATTIBILITÀ TECNICA, ECONOMICA E AMBIENTALE** DI UN IMPIANTO DI MICROALGHE CON UNA PRODUTTIVITÀ MAGGIORE DI **10 t ha⁻¹ y⁻¹ di OLIO** DA CONVERTIRE IN **BIODIESEL**, TESTANDO NUOVI CEPPI MICROALGALI, UTILIZZANDO UNITÀ PRODUTTIVE INNOVATIVE ED INFINE CARATTERIZZANDO L'OLIO ESTRATTO DALLA BIOMASSA.

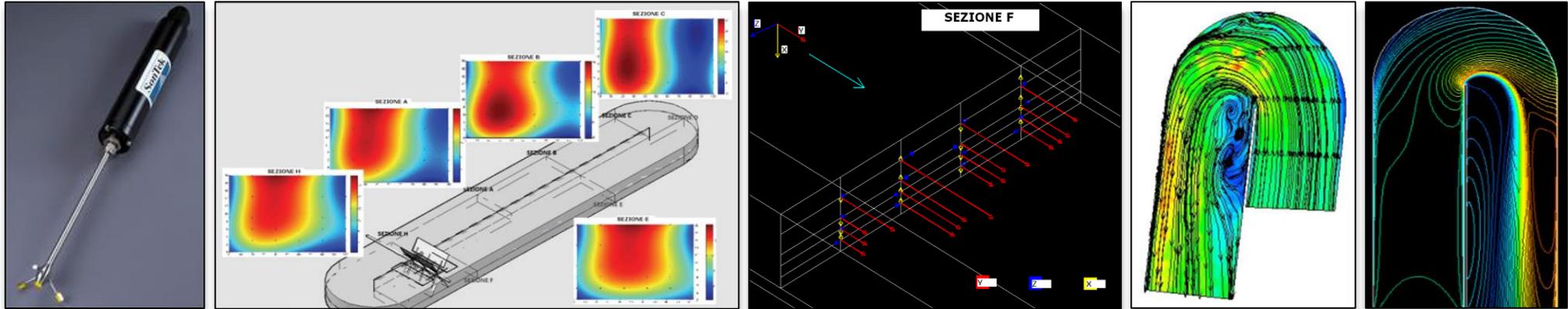
- PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI UNA RACEWAY POND DA 20 m² CON RELATIVA PADDLE WHEEL
- PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI UNA UNITÀ PRODUTTIVA CON BATTENTE A 5 cm



- MISURE E CONFRONTI DIRETTI DELLE PERFORMANCE DELLE DIVERSE UNITÀ PRODUTTIVE (ENERGIA E PRODUTTIVITÀ)
- TEST DI UN DIFFERENTE SISTEMA DI MOVIMENTAZIONE (PROPELLER ASSIALE) E CONFRONTO CON PW A DIVERSE SCALE



- ANALISI IDRODINAMICA DELLA VASCA CON MISURAZIONI DIRETTE CON LO STRUMENTO MICRO-ADV
- ANALISI COMPARATIVE DEI RISULTATI EMPIRICI E QUELLI COMPUTAZIONALI (CFD), SIMILITUDINE IDRAULICA PER SCALING-UP



- STUDI MIRATI AD UN EFFICIENTE RIMESCOLAMENTO VERTICALE E AL RISPARMIO ENERGETICO (BAFFLE BOARDS ED ELICHE ASSIALI)
- TEST SULL'EFFETTO DELL'UTILIZO DELLE POMPE CENTRIFUGHE E CONVERSIONE TERMOCHIMICA DELLE MICROALGHE PER BIOFUEL





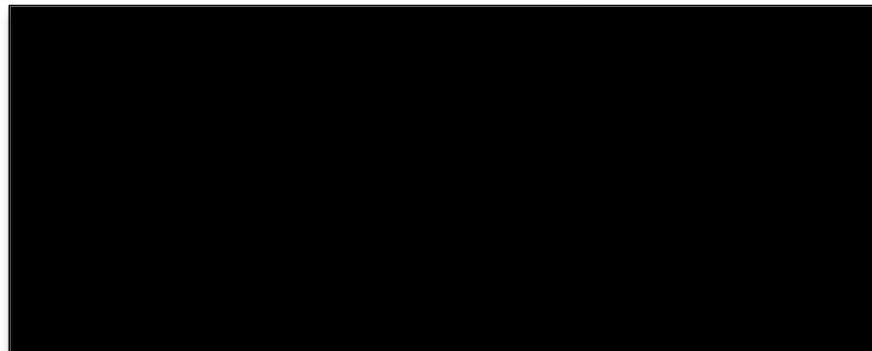
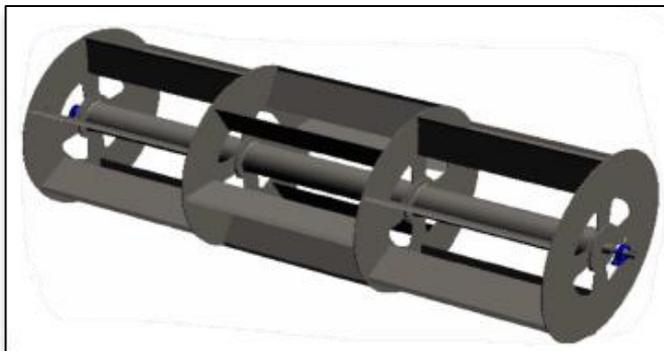
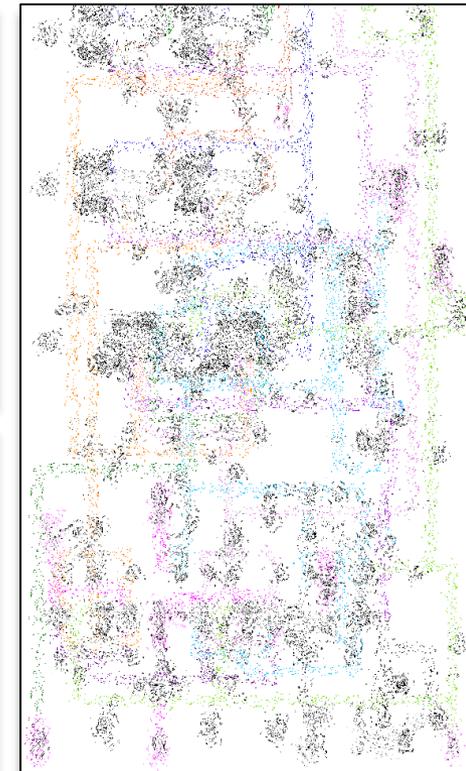
BIOFAT PROJECT

BIOFUEL FROM ALGAE TECHNOLOGIES

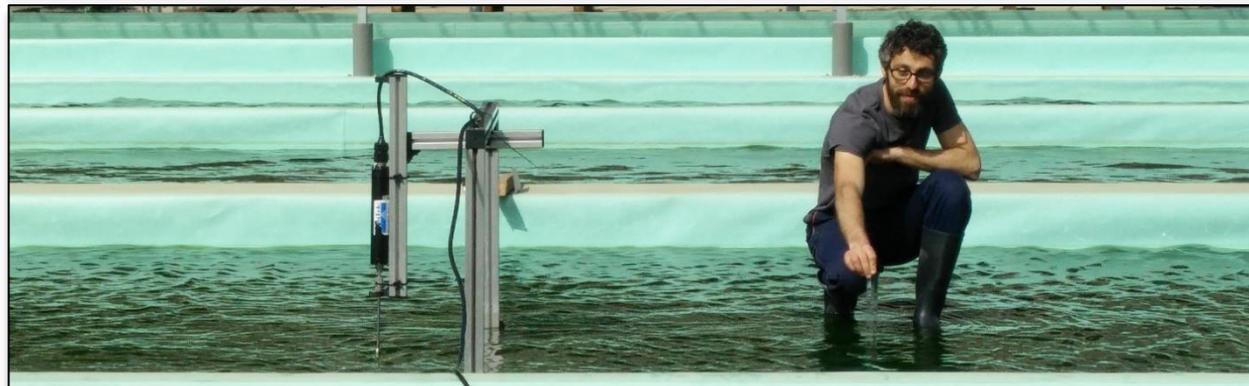


BIOFAT IS A MICROALGAE-TO-BIOFUEL FP7 DEMONSTRATION PROJECT STARTED IN 2012 THAT INTEGRATES THE ENTIRE VALUE CHAIN OF ALGAE PROCESS FROM OPTIMIZED GROWTH, STARCH AND OIL ACCUMULATION, TO DOWNSTREAM PROCESSING (BIOREFINERY) INCLUDING BIOFUEL PRODUCTION. THE DIMENSION OF THE PLANT IS 1 HA, BUT THE PROJECT INCLUDES ALSO A PRELIMINARY DESIGNING OF A 10 HA PRODUCTION PLANT.

- **PROGETTAZIONE DI UN IMPIANTO DA 0.5 HA (IMPIANTO MECCANICO, ELETTRICO ED OPERE CIVILI)**
- **PROGETTAZIONE ED OTTIMIZZAZIONE ENERGETICA DELLE VASCHE E DELLE PADDLE WHEEL**
- **CONTRIBUTO ALLA SCELTA DEI COMPONENTI DELL'IMPIANTO (POMPE, VALVOLE, SERBATOI, TUBATURE, BLOWER, ETC.)**
- **MISURE SULLE PERFORMANCE DELL'IMPIANTO REALIZZATO ED ESERCITO**
- **PROGETTAZIONE DEL LAYOUT DI UN IMPIANTO DA 10 HA**



ATTIVITÀ RE-CORD NEL PROGETTO BIOFAT





ALGAEFUELS PROJECT

MICROALGAE FOR BIOENERGY

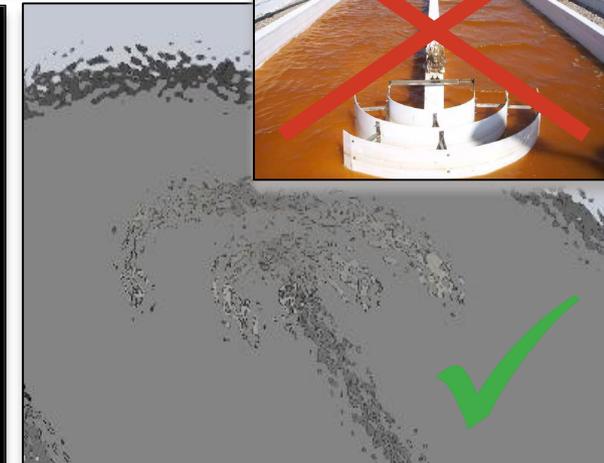
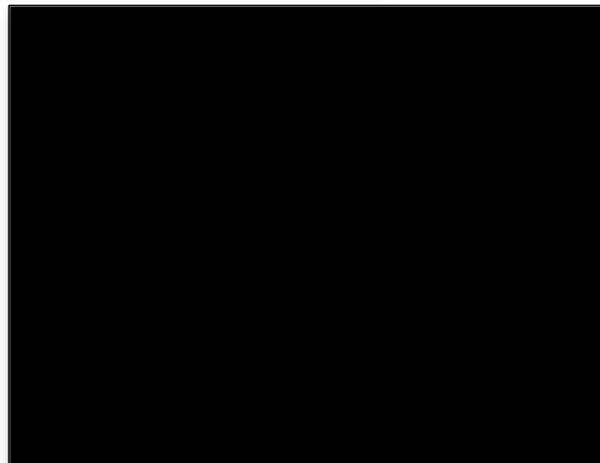
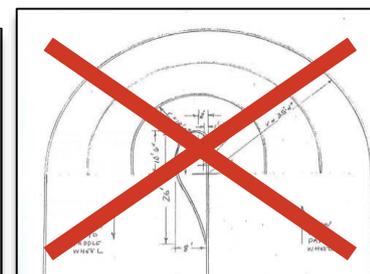
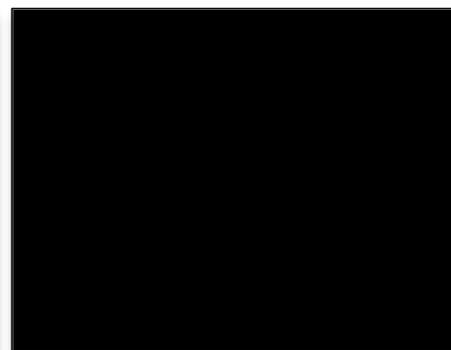
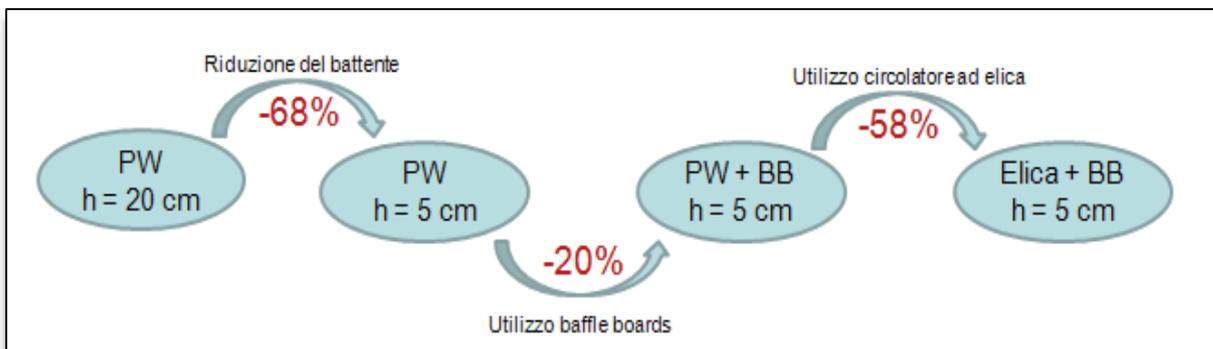


MICROALGAE FOR BIOENERGY PROJECT CONSISTS IN DESIGNING PRODUCTION PLANTS IN THE NORTH OF CHILE: ONE IN THE ANTOFAGASTA REGION WITH THE DIMENSION OF 1 HA AND ANOTHER ONE IN EL CARMELO. BOTH PLANTS USING AN HYBRID SYSTEM WITH PHOTOBIOREACTORS AND OPEN PONDS AND COUPLING ULTRAFILTRATION AND CENTRIFUGE FOR HARVESTING STAGE. IN MEJILLONES CO₂ IS RECOVERED FROM THE EXHAUSTS OF A COAL POWER PLANT NEAR THE SEA.

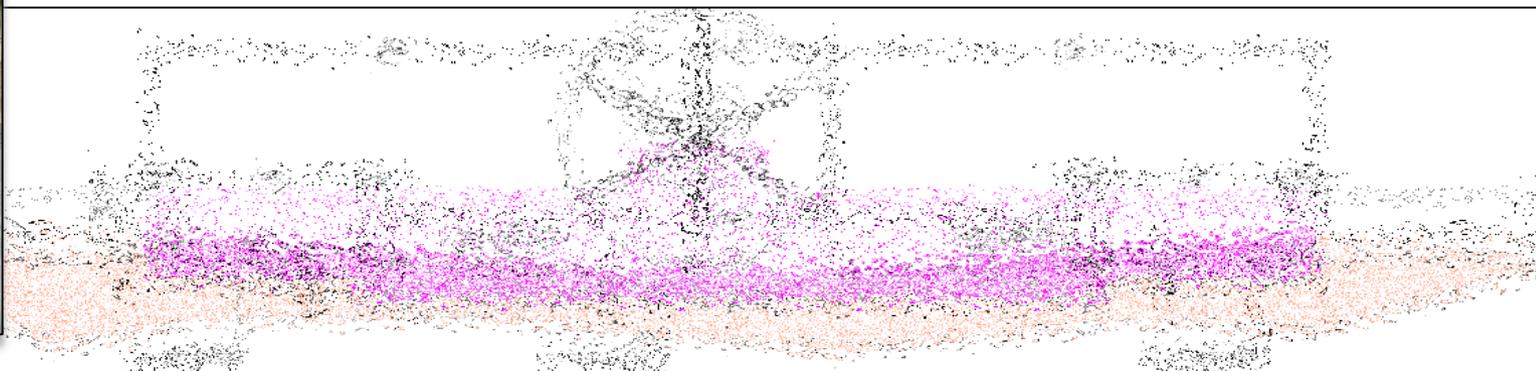
- PROGETTAZIONE E MODIFICHE ALL'IMPIANTO DA 1 HA A LA TIRANA
- PROGETTAZIONE DELL'IMPIANTO DA 1 HA A MEIJLLONES
- SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE DEI PROCESSI DELLA BIOMASSA
- SCELTA DEI COMPONENTI DELL'INPIANTO (POMPE, VALVOLE, SERBATOI, TUBATURE, BLOWER, ETC.)



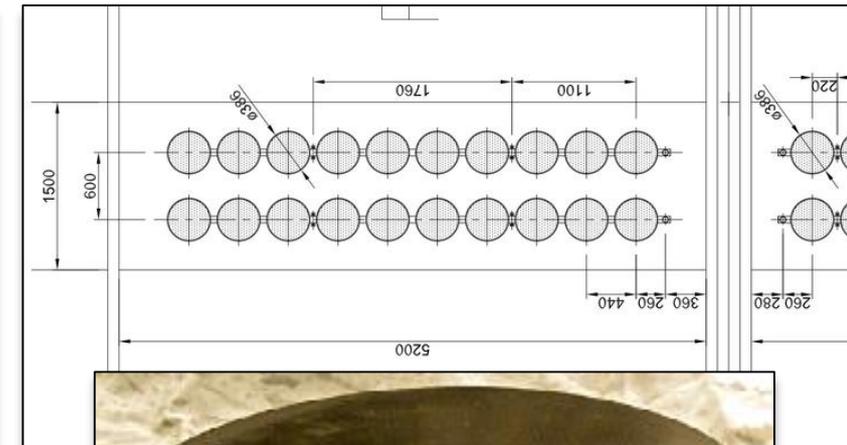
- REALIZZAZIONE DI VASCHE DA 1500 MQ ESERCITE CON UN BATTENTE DI 7 CM
- MISURATO UN IMPORTANTE RISPARMIO ENERGETICO CON LA SOSTITUZIONE DELLA PADDLE WHEEL CON ELICHE ASSIALI, INSERIMENTO DELLE BAFFLE BOARDS E BATTENTE IDRAULICO A 5 CM
- TEST DI MIXING CONTROLLATO CON INSERIMENTO DI OSTACOLI DISTRIBUITI LUNGO I CANALI DEL CIRCUITO



- **INSERIMENTO DI UNA TRINCEA NELLA ZONA MEDIANA DELLE VASCHE (MAGGIOR EFFICIENZA PW E CARBONATAZIONE, FACILITARE LO SVUOTAMENTO DELLE VASCHE)**
- **CON LA POSSIBILITÀ DI SOSTITUIRE LA PADDLE WHEEL CON ELICHE ASSIALI SENZA APPORTARE SOSTANZIALI MODIFICHE ALLA VASCA**



- **VASCHE IN TERRENO STABILIZZATO, DA PREFERIRSI AD UNA DISTESA DI CLS**
- **SPOSTAMENTO DELLA PW DA SOTTO-CURVA A CENTRALE, SEZIONE DELLA VASCA IN CEMENTO ARMATO**
- **PROPOSTA UNA COPERTURA DELLA PARTE IN CLS CON UNA RESINA ALIMENTARE**
- **DIFFUSORI CO₂ ADATTI AD UN FUNZIONAMENTO INTERMITTENTE, COMPATIBILI CON GAS ESAUSTI, CON BASSE PERDITE E MANUTENZIONE MINIMA**



- **INTRODUZIONE DEL RACK, UNA PASSERELLA TRASVERSALE AI CANALI DELLA VASCA (PER CAMMINAMENTO, DISTRIBUZIONE ELETTRICA, IDRICA E GAS)**
- **REALIZZAZIONE DI UNA CAMERA POMPE INTERRATA**
- **SERBATOI DI BUFFER IN CASO DI EMERGENZA CON AUTOMAZIONE DELLA SICUREZZA, FOOD-GRADE, ECONOMICI**



- D. Chiaramonti, M. Prussi, D. Casini, M.R. Tredici, L. Rodolfi, N. Bassi, G. Chini Zittelli, P. Bondioli: **Review of energy balance in raceway ponds for microalgae cultivation: Re-thinking a traditional system is possible.** Appl Energy. Applied Energy 02/2013; 102:101–111.
- P. Bondioli, L. Della Bella, G. Rivolta, G. Chini Zittelli, N. Bassi, L. Rodolfi, D. Casini, M. Prussi, D. Chiaramonti, M.R. Tredici: **Oil production by the marine microalgae Nannochloropsis sp F&M-M24 and Tetraselmis suecica F&M-M33.** Bioresource Technology 03/2012.
- MR Tredici, N Bassi, M Prussi, N Biondi, L Rodolfi, G Chini Zittelli, G Sampietro. **Energy balance of algal biomass production in a 1-ha “Green Wall Panel” plant: How to produce algal biomass in a closed reactor achieving a high Net Energy Ratio.** 2015. Applied Energy.
- M. Prussi, M. Buffi, D. Casini, D. Chiaramonti, F. Martelli, M. Carnevale, M.R. Tredici, L. Rodolfi: **Experimental and numerical investigations of mixing in raceway ponds for algae cultivation.** Biomass and Bioenergy 08/2014; 67:390–400.
- D.Chiaramonti, M.Prussi, M.Buffi, D.Casini, A.M.Rizzo: **Thermochemical Conversion of Microalgae: Challenges and Opportunities.** The 7th International Conference on Applied Energy (ICAE2015): Clean, Efficient and Affordable Energy for a Sustainable Future, Milan; 08/2015
- M. Prussi, D. Chiaramonti, M. Tredici, L. Rodolfi, N. Bassi, D. Casini: **Energetic assessment of 1 ha microalgae production plant.** 1st EABA and EC AlgaeContractors’ Conference, and the 8th International AlgaeCongress, Florence; 12/2014
- Chiaramonti D, Prussi M, Buffi M, Rizzo AM, Pari L. **Review and experimental study on pyrolysis and hydrothermal liquefaction of microalgae for biofuel production.** Appl Energy (2016).
- Chiaramonti, D., Rizzo, A.M., Spadi, A., Prussi, M. **Effect of Feedstock Composition on Quality and Yield of Bio-oil from the Pyrolysis of Three Microalgae Species from Open Pond and Closed Photobioreactor.** Proceedings of the 21st European Biomass Conference and Exhibition, Copenhagen, Denmark, (2013) 494 - 499.

THERMOCHEMICAL CONVERSION OF BIOMASS INTO BIOFUEL



PYROLYSER



HYDRO-THERMAL
CARBONIZATION

LABORATORIO DI CHIMICA ANALITICA



RE-CORD
LABORATORY



PROXIMATE AND
ULTIMATE ANALYSIS

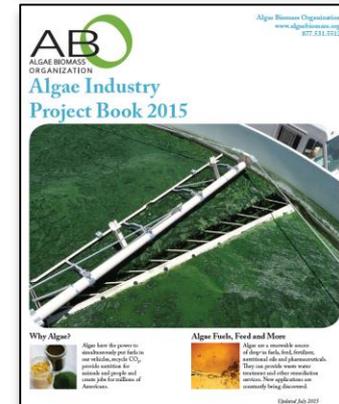


SOLAR
SIMULATOR



OIL CONTENT
CHARACTERIZATION

- ABO - Algae Industry Project Book 2015
- State of Technology Review – Algae Bioenergy. An IEA Bioenergy Inter-Task Strategic Project 2017
- Ami Ben-Amotz - Large Scale Open Algae Ponds. The National Institute of Oceanography Nature Beta Technologies Ltd. Nikken Sohonsa Co, Japan. Seambiotic Ltd. Israel.
- de Vree JH, Bosma R, Janssen M, Barbosa MJ, Wijffels RH. Comparison of four outdoor pilotscale photobioreactors. Biotechnol Biofuels 2015; 8: 215.



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

CONTATTI

david.casini@re-cord.org

david.chiaramonti@re-cord.org



ALGAE EVENT – PROSPETTIVE DI PRODUZIONE ED UTILIZZO DELLE ALGHE

7 NOVEMBRE 2017

SALA MIMOSA 2 – PAD B6, ECOMONDO RIMINI FIERA