



Gli Aggregati Riciclati : Economia Circolare nel Settore delle Costruzioni

Rimini 5 - 8 Novembre 2019

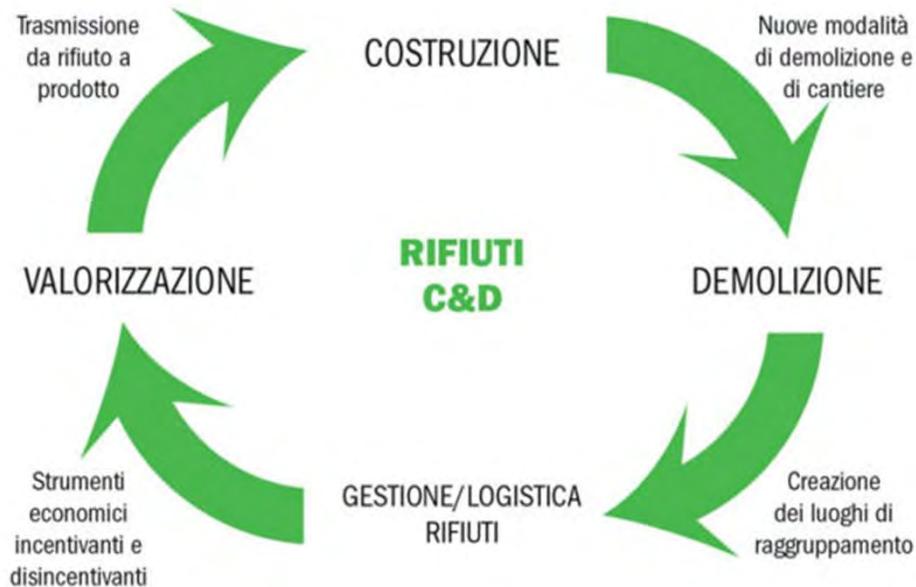
Relatore: Dott. Ing. Luisa Pani

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura - Università di Cagliari





ECONOMIA CIRCOLARE NEL SETTORE DELLE COSTRUZIONI



- I rifiuti da costruzione e demolizione (C&D), ai sensi della legislazione italiana e all'art. 184 del decreto legislativo 152/06, sono considerati rifiuti speciali.
- C&D devono essere smaltiti in discarica, se invece abbandonati generano gravi conseguenze ambientali.
- In Italia, i C&D riciclati sono impiegati soprattutto come materiale di riempimento e per sottofondi stradali.
- In altri paesi europei il loro impiego è più ampio e redditizio, ad esempio in strutture più nobili come le costruzioni in calcestruzzo armato.

Recycled Aggregates: Circular Economy in the construction sector

La Direttiva Europea 2008/98/CE impone che il **70%** delle macerie da costruzione e demolizione sia **riciclato**



I **Criteri Ambientali Minimi (CAM)** individuano la soluzione progettuale migliore sotto il profilo ambientale tenuto conto della disponibilità di mercato.



In Italia tutte le stazioni appaltanti sono obbligate a rispettare i CAM secondo:

- L. 221/2015
- D.lgs. 50/2016



Recycled Aggregates: Circular Economy in the construction sector



La politica nazionale e regionale in materia di appalti pubblici verdi deve essere incisiva non solo nell'obiettivo di ridurre gli impatti ambientali, ma nell'obiettivo di promuovere modelli di produzione e consumo più sostenibili, "circolari " e nel diffondere l'occupazione "verde".

Novità molto importante per la Sardegna, il Prezzario Regionale 2019 contiene per la prima volta la voce **Aggregati Riciclati**.



Processi necessari, ma attualmente assenti

Mappatura dei rifiuti

Decreto End of Waste per i C&D

Demolizione selettiva





**Gruppo di Ricerca
Università di Cagliari**

**Associazioni
di Categoria**



**Pubblica
Amministrazione**



CASI STUDIO

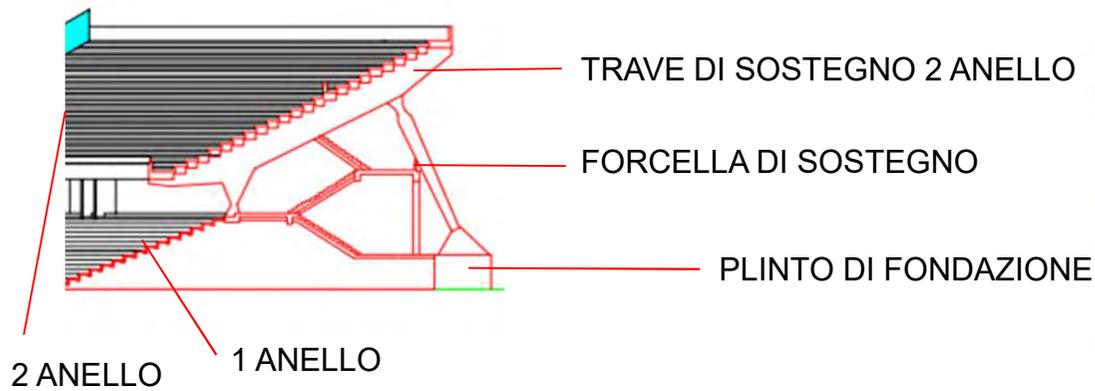
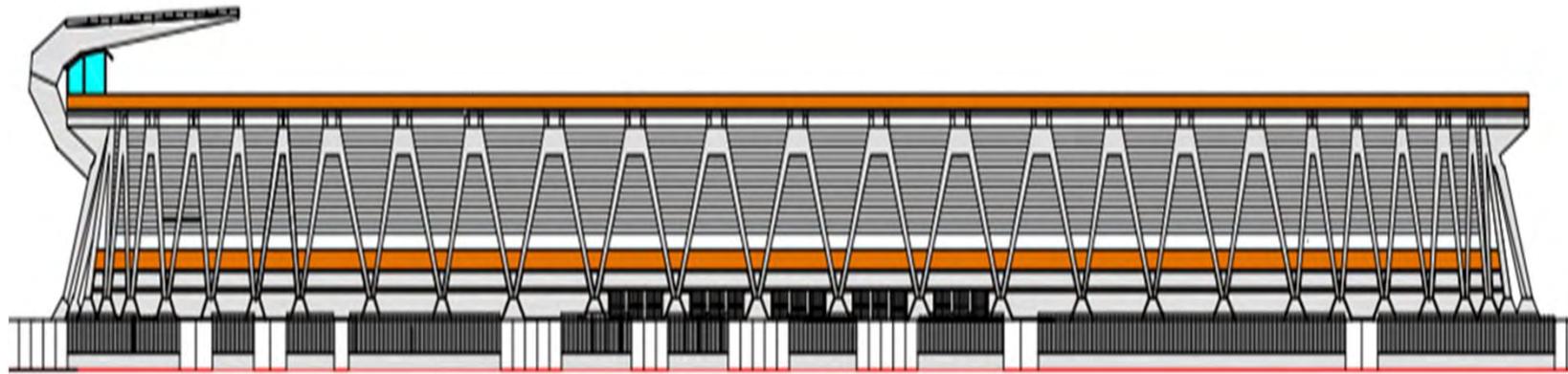
- **Riciclaggio delle macerie prodotte dalla demolizione di una grande struttura**
- **Uso degli aggregati riciclati in Aziende di prefabbricazione**
- **Uso di aggregati e calcestruzzo riciclato nella Pianificazione Urbanistica**



Caso Studio:

INDAGINE SPERIMENTALE SUGLI AGGREGATI RICICLATI – STADIO SANT'ELIA

➤ CARATTERIZZAZIONE DEL CALCESTRUZZO GENITORE



Recycled Aggregates: Circular Economy in the construction sector

➤ CARATTERIZZAZIONE DEL CALCESTRUZZO GENITORE



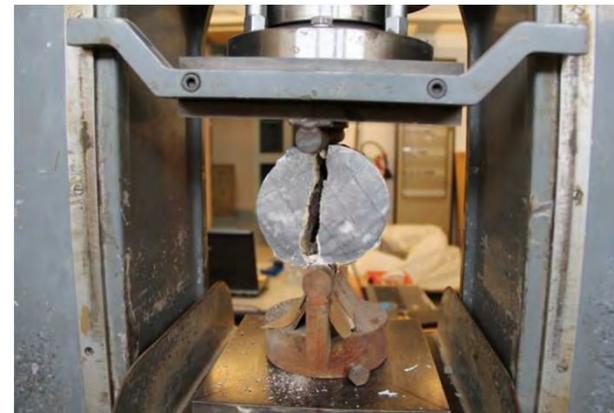
Carotaggi Trave e Plinto



Test di carbonatazione



Prova a compressione



Prova di trazione indiretta

Recycled Aggregates: Circular Economy in the construction sector

➤ CARATTERIZZAZIONE DEL CALCESTRUZZO GENITORE



Test Modulo Elastico



Analisi petrografica sulle sezioni sottili dei campioni



Identificazione	Profondità di carbonatazione (mm)	Densità media (kg/m ³)	Resistenza a compressione media (MPa)	Modulo elastico medio (MPa)	Resistenza a trazione media (MPa)
C. Fond.	10	2314	27.9	25335.3	2.04
C. Tr.	31	2270	21.0	18041.6	1.49

Recycled Aggregates: Circular Economy in the construction sector

➤ GLI AGGREGATI RICICLATI - DEMOLIZIONE E LAVORAZIONE DELLE MACERIE



Demolizione trave



Impianto di riciclaggio



Demolizione plinto



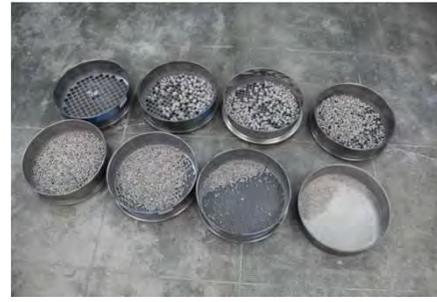
RA Trave



RA Plinto

Recycled Aggregates: Circular Economy in the construction sector

➤ **GLI AGGREGATI RICICLATI – CARATTERIZZAZIONE DEGLI RA**



Quartatura e Analisi Granulometrica



Prova Los Angeles



Determinazione dell'Assorbimento



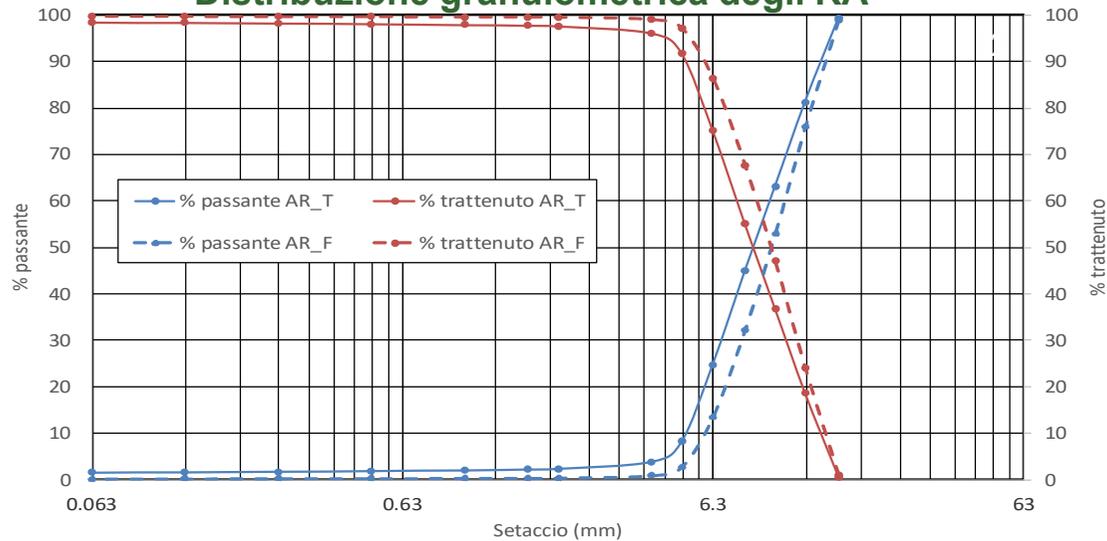
Indice di Appiattimento



Indice di Forma

**CARATTERIZZAZIONE DEGLI
RA in accordo con UNI EN
12620: 2008 e UNI 8520-1: 2015**

Distribuzione granulometrica degli RA



Risultati delle prove sugli RA

Proprietà	RA_F	RA_T
Dimensione granuli	4/16	4/16
Categoria granulometrica	G _C 90/15, G _T 17.5	G _C 90/15, G _T 17.5
Indice di appiattimento	4	4
Indice di forma	59	34
Densità saturazione a sup. asciutta	2.39 Mg/m ³	2.38 Mg/m ³
Densità apparente e vuoti	$\rho_b = 1.23 \text{ Mg/m}^3 \text{ v}\% = 45$	$\rho_b = 1.14 \text{ Mg/m}^3 \text{ v}\% = 49$
Percentuale dei fini	0.15%	0.59%
Percentuale di conchiglie	assente	assente
Resistenza alla frammentazione	39	39
Costituenti aggregati riciclati grossi	X = 0; R _c = 74%; R _u = 27%; R _b = 0; R _a = 0; R _g = 0	X = 0; R _c = 78%; R _u = 22%; R _b = 0; R _a = 0; R _g = 0
Contenuto di cloruri idrosolubili	0.005%	0.005%
Contenuto di cloruri solubili in acido	0.325%	0.325%
Contenuto dei solfati solubili in acido	0.43%	0.26%
Determinazione dei solfati	S < 0.1%	S < 0.1%
Contenuto dei solfati idrosolubili	SS = 0.148%	SS = 0.068%
Contaminanti leggeri	assente	assente
Acqua di assorbimento	WA ₂₄ = 7.0	WA ₂₄ = 6.7
Resistenza al gelo e disgelo	41%	42%
Resistenza al solfato di magnesio	2.56%	0%
Presenza di humus	assente	assente

Contenuto di malta residua negli RA

RMC (%)	RA_F	RA_T
Trattenuto al setaccio 4 mm	55.81%	49.67%
Trattenuto al setaccio 10 mm	45.82%	45.65%

Recycled Aggregates: Circular Economy in the construction sector

➤ CALCESTRUZZI RICICLATI - STUDIO DELLE MISCELE



Studio delle miscele



Slump Test T0



Slump Test T30

Proporzioni delle miscele di calcestruzzo

Notazione	a/c	Cemento (kg/m ³)	acqua (l/m ³)	NA fine (kg/m ³)	NA grosso (kg/m ³)	RA_F grosso (kg/m ³)	RA_T grosso (kg/m ³)	Additivo (kg/m ³)	Densità (kg/m ³)
NC	0.463	400	185	847.49	880.06	-	-	2.91	2322
RC_T30%	0.463	400	185	821.8	616.04	-	263.69	3.31	2293
RC_F30%	0.463	400	185	821.8	616.04	263.69	-	3.31	2287
RC_T50%	0.463	400	185	802.97	440.03	-	440.27	3.31	2298
RC_F50%	0.463	400	185	802.97	440.03	440.27	-	4.00	2283
RC_T80%	0.463	400	185	778.15	176.01	-	703.96	4.00	2268
RC_F80%	0.463	400	185	778.15	176.01	703.96	-	4.00	2229

Recycled Aggregates: Circular Economy in the construction sector

➤ CALCESTRUZZI RICICLATI - CARATTERIZZAZIONE DEGLI RC



Produzione cubetti e cilindri in RC



Resistenza a Compressione

Prestazioni meccaniche del RC

Notazione	Massa Volumica 28 gg (Kg/m ³)	Resistenza a compressione 14 gg (MPa)	Resistenza a compressione 28 gg (MPa)	Resistenza a trazione indiretta (MPa)	Modulo Elastico (MPa)
NC	2308	39	42	3.66	26037
RC_T30%	2308	42	45	3.78	23512
RC_F30%	2281	41	44	3.89	24902
RC_T50%	2266	44	44	3.90	23011
RC_F50%	2303	44	47	3.40	25509
RC_T80%	2265	43	47	3.85	23486
RC_F80%	2227	40	44	3.69	24043



ANALISI DEI RISULTATI

➤ **CARATTERIZZAZIONE DEGLI RA**

GLI AGGREGATI RICICLATI SONO IDONEI PER
L'IMPIEGO NEL CALCESTRUZZO STRUTTURALE

➤ **CARATTERIZZAZIONE DEGLI RC**

IL CALCESTRUZZO RICICLATO E' DI TIPO STRUTTURALE



GLI AGGREGATI RICICLATI E LE AZIENDE DI PREFABBRICAZIONE



Produzione di Blocchi in RC



Prova di Assorbimento



Resistenza a Compressione



GLI AGGREGATI RICICLATI E LE AZIENDE DI PREFABBRICAZIONE



Mix	Densità media (kg/m ³)	Assorbimento medio (g/(m ² · s ^{0.5}))	Resistenza a compressione (N/mm ²)
NA	2069	108.9	3.77
20% RA	2009	103.9	3.58
50% RA	2087	93.3	3.58
70% RA	2039	126.3	2.85
100% RA	1954	111.1	3.40



Prova di Assorbimento



Resistenza a Compressione

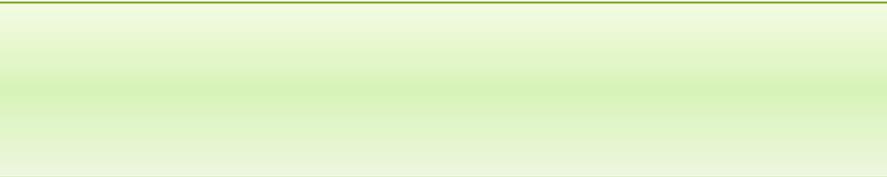
➤ **GLI AGGREGATI RICICLATI E LA PIANIFICAZIONE URBANISTICA**



Caso Studio

Uso degli RA nell'elaborazione e attuazione dei piani di utilizzo dei litorali e dei piani urbanistici comunali per tre comuni del Sud Sardegna, nel territorio del Sulcis.

Obiettivo



Metodologia

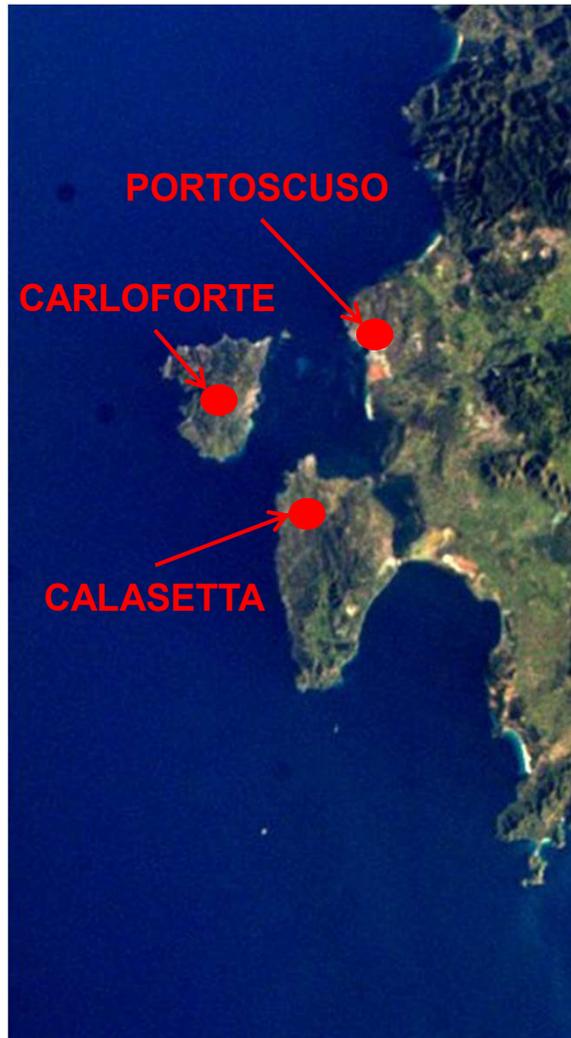
Elaborazione di:

- Un quadro logico della Valutazione Ambientale Strategica (VAS), considerando il Piano Urbanistico Comunale (PUC), il Piano di Utilizzo dei Litorali (PUL) e i Piani di Gestione dei siti della Rete Natura 2000 (PdG).
- Una metodologia per determinare la domanda di RA sulla base delle previsioni del PUC e del PUL.





Comuni oggetto di indagine



Le azioni previste dal PUC, PUL e Pdg sono:

- **A Carloforte**, per la sottozona F2 (insediamenti turistici spontanei), una espansione turistica delle parti del territorio interamente o parzialmente inedificate destinate a nuovi complessi turistici.
- **A Calasetta**, la realizzazione di piste ciclabili e pedonali che colleghino il centro con le aree costiere.
- **A Portoscuso**, la realizzazione di piste ciclabili e pedonali.

Sulla base delle previsioni decennali del PUC, si è stimata la quantità di RA per le nuove costruzioni, la manutenzione di edifici esistenti e la costruzione di piste ciclabili e pedonali.

I dati a disposizione per ogni zona o per ogni isolato sono le volumetrie esistenti e previste, gli indici fondiari e territoriali.

Recycled Aggregates: Circular Economy in the construction sector



Sulla base del PUC e del PUL, attualmente cogenti, è stata calcolata per una ipotetica costruzione la superficie coperta a partire dalla volumetria e la superficie complessiva.

Per la stima della quantità di materiale si è considerato che la quantità di aggregato necessaria per le **Nuove Costruzioni** sia pari a circa **2 t/m²** e per la **Manutenzione di costruzioni** esistenti pari a circa **0.1 t/m²**.

Il quantitativo di aggregati necessari per la realizzazione di **Piste ciclabili e pedonali** è pari a circa **0,5 t/m²**.

Si è considerato un peso degli aggregati da impiegare pari al 30% del peso del calcestruzzo da confezionare.

Le miscele di RC possono contenere RA grossi in luogo degli NA fino all'80% per gli edifici e pari al 100% per le piste ciclabili e pedonali

Quantità stimate di RA e C&DW da riciclare (previsione PUC decennale)

Comune	Calasetta		Carloforte		Portoscuso	
% sostituzione RA	30%	80%	30%	80%	30%	80%
RA nuove costruzioni (t)	8673	23127	15336	40897	18753	50008
RA manutenzione costruzioni esistenti (t)	152	404	342	911	486	1296
Comune	Calasetta		Carloforte		Portoscuso	
% sostituzione RA	100%		100%		100%	
RA sottofondi stradali (t)	34198		167872		66989	
Comune	Calasetta		Carloforte		Portoscuso	
RA totali (t)	43022	57729	183550	209675	86228	118794
C&D da riciclare (t)	86044	115458	367100	419359	172456	236587

Conclusioni



1. Il calcestruzzo riciclato prodotto con aggregati riciclati presenta prestazioni meccaniche equivalenti a quelle del calcestruzzo normale, anche quando la percentuale di sostituzione dell'aggregato naturale raggiunge l'80%.
2. Le prestazioni del calcestruzzo riciclato non sono correlate alle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo genitore, ma è fondamentale definire una composizione accurata della miscela.
3. I risultati preliminari dei test di durabilità sul calcestruzzo riciclato mostrano prestazioni ottimali anche a lungo termine.
4. Elementi prefabbricati come i blocchi di calcestruzzo, possono essere realizzati con RA, senza modifiche del processo di produzione. Le prestazioni dei blocchi in RC, realizzati con percentuali di sostituzione fino al 50%, non sono influenzate dalla presenza di RA, per percentuali di sostituzione superiori al 70% si possono osservare prestazioni leggermente inferiori.
5. La mappatura dei rifiuti e la demolizione selettiva dovrebbero essere promosse e applicate laddove possibile.
6. La sinergia fra le associazioni di categoria, il gruppo di ricerca dell'Università di Cagliari e l'Amministrazione Pubblica è necessaria per portare avanti progetti pilota che dimostrino la fattibilità di impiego degli RA nella produzione di calcestruzzo strutturale, nella realizzazione di elementi prefabbricati di calcestruzzo e non soltanto come materiale di riempimento e/o sottofondo stradale.



RINGRAZIAMENTI:

- L'Impianto di riciclaggio di materie prime seconde:
Rifiuti Edili Recycle, Quartucciu (Cagliari).
- Il Produttore di Calcestruzzo:
Calcestruzzi s.p.a Italcementi, Quartu Sant'Elena (Cagliari).
- Le Aziende di Prefabbricazione:
Manufatti in Cemento di Roberto Farris, Villaspeciosa (Cagliari).
Vibrocemento srl, Monastir (Cagliari).
- La Ditta di Indagini Strutturali:
Secured Solutions s.r.l. Spin-Off UNICA
- Per il supporto finanziario **Sardegna Ricerche (fondi POR FESR 2014/2020 - ASSE PRIORITARIO I "RICERCA SCIENTIFICA, SVILUPPO TECNOLOGICO E INNOVAZIONE).**

Grazie a Voi per l'Attenzione