
COMUNE di MACOMER

PROVINCIA di NUORO

**PROGETTO DEFINITIVO PER L'ALLESTIMENTO DI UN
PIANO DI BIOMONITORAGGIO DELLE EMISSIONI
GASSOSE A MEZZO DI LICHENI EPIFITI
AREA INDUSTRIALE TOSSILO – MACOMER (NU)**



**CIM “CONSORZIO PER LA ZONA
INDUSTRIALE DI MACOMER”**

Sede località Tossilo – 08015 MACOMER (NU)



RELAZIONE TECNICA a cura di



A.T.P. “C.C.W.R.” - progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile

Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;

Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;

Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e desertificazione.

Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

Coordinatore: *Dottore Biologo Francesco Aru*

Valutazione Impatto Ambientale. Analisi e soluzioni ambientali. Landscape Ecology. Pedologia e scienze del suolo. Classificazione, Pianificazione e Gestione dei sistemi agro-silvo-venatorio-pastorali e della vegetazione forestale. Monitoraggio fauna selvatica. Metodiche di Biomonitoraggio Ambientale. Bioremediation. Consulenza agraria e fitopatologia. Metodiche agrobiologiche. Certificazioni ambientali ISO/EMAS/ECOLABEL. Sicurezza sul lavoro. Certificazione HACCP. Formazione professionale.

Studio tecnico: Via Roma n. 11, 09039 Villacidro (SU) - p.IVA 02192000921

Tel. e fax 0709315453 - cell. 3406518502 - email: arufranco@gmail.com – PEC: francesco.aru@pec.enpab.it

PROGETTO DEFINITIVO
PER L'ALLESTIMENTO DI UN PIANO DI BIOMONITORAGGIO DELLE EMISSIONI GASSOSE
A MEZZO DI LICHENI EPIFITTI NELL'AREA INDUSTRIALE DI TOSSILO – MACOMER (NU)

SOMMARIO

1 - INTRODUZIONE.....	1
2 - IL BIOMONITORAGGIO MEDIANTE LICHENI.....	1
3 - L'AREA D'INTERESSE	3
3a - ASPETTI GEOGRAFICI.....	3
3b - ASPETTI MORFOLOGICI, GEOLOGICI E PEDOLOGICI.....	7
3c - ASPETTI CLIMATICI.....	15
3d - INQUADRAMENTO FLORISTICO VEGETAZIONALE	25
4 - IL PROGETTO	26
4a - FINALITA'.....	26
4b - IL BIOMONITORAGGIO AMBIENTALE	27
4c - PRINCIPIO DI UTILIZZO DEI LICHENI.....	28
4d - STRATEGIE DI CAMPIONAMENTO.....	30
4e - IL PIANO DI RICERCA	32
4f - ASSICURAZIONE E CONTROLLO DELLA QUALITÀ	32
4g- CARATTERIZZAZIONE DELL'AREA DI STUDIO	35
4h- AGGIORNAMENTO COSTANTE DELLE INFORMAZIONI CLIMATICHE	35
4i- CARATTERIZZAZIONE DELL'AREA DI BACKGROUND.....	35
4j - SPECIE LICHENICHE IDONEE PER L'ESPOSIZIONE	35
4k - PROCEDURE PER LA RACCOLTA DEI CAMPIONI LICHENICI DA SOTTOPORRE A ESPOSIZIONE	36
4l - DISEGNO DI CAMPIONAMENTO	36
4m - INDIVIDUAZIONE IN CAMPO DEI PUNTI LICHENICI	59
4n - CARTELLI IDENTIFICATIVI DEI PUNTI LICHENICI	66
4o - SCHEDA DESCRITTIVA DEI PUNTI LICHENICI	67
4p - L'ESPOSIZIONE DEI CAMPIONI NELLE UC	70
4q - ALLESTIMENTO DEI SUPPORTI PER L'ESPOSIZIONE DEI TRAPIANTI LICHENICI.....	70
5 - BIBLIOGRAFIA	74

ALLEGATI

1 – Allegato A – CARTA DELLE UC CON PUNTI LICHENICI.....	file .PDF
2 – Allegato B – COORDINATE DEI PUNTI LICHENICI.....	file .PDF
3 – Allegato C – SCHEDA DESCRITTIVA PUNTO LICHENICO	file .PDF

Novembre 2024

Comune di MACOMER (OR)



CIM “CONSORZIO PER LA ZONA INDUSTRIALE DI MACOMER”
Sede località Tossilo – 08015 Macomer (NU)

**PROGETTO DEFINITIVO PER L'ALLESTIMENTO DI UN PIANO DI BIOMONITORAGGIO DELLE
EMISSIONI GASSOSE A MEZZO DI LICHENI EPIFITI NELL'AREA INDUSTRIALE DI TOSSILO – MACOMER
(NU)**

Progetto a cura di



**A.T.P. “C.C.W.R” - progettazioni e soluzioni
ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile**

- Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario Geopedologia, Dipartimento di scienze della terra Univ.CA;
- Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;
- Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e desertificazione.
- Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

Coordinatore: *Dottore Biologo Francesco Aru*

Valutazione Impatto Ambientale. Analisi e soluzioni ambientali. Landscape Ecology. Pedologia e scienze del suolo. Classificazione, Pianificazione e Gestione dei sistemi agro-silvo-venatorio-pastorali e della vegetazione forestale. Monitoraggio fauna selvatica. Metodiche di Biomonitoraggio Ambientale. Bioremediation. Consulenza agraria e fitopatologia. Metodiche agrobiologiche. Certificazioni ambientali ISO/EMAS/ECOLABEL. Sicurezza sul lavoro. Certificazione HACCP. Formazione professionale.

Studio tecnico: Via Roma n. 11, 09039 Villacidro (SU) - p.IVA 02192000921

Tel. e fax 0709315453 - cell. 3406518502 - email: arufanco@gmail.com – PEC: francesco.aru@pec.enpab.it

1 - INTRODUZIONE

Il presente progetto definitivo inerente l'allestimento di un Piano di BioMonitoraggio delle emissioni gassose a mezzo di licheni epifiti nell'area della Zona Industriale di Tossilo "MACOMER" viene redatta a seguito di specifico incarico conferito dalla società **AREA IMPIANTI SPA**, con sede in via Leonino Da Zara n. 3A, 35020 Albignasego (PD), in data 22 maggio 2024, per conto del CIM "CONSORZIO PER LA ZONA INDUSTRIALE DI MACOMER" con sede nella località Tossilo – 08015 Macomer (NU). Tale piano è da attuare nell'ambito del progetto di realizzazione della nuova linea di termovalorizzazione da 30 Mw presso il Sistema di trattamento rifiuti di Macomer.

Le finalità specifiche del seguente elaborato sono:

1. l'inquadramento territoriale e lo stato dei luoghi, ai fini di valutare la congruità delle metodiche di biomonitoraggio approntate;
2. la fattibilità e applicabilità in relazione al contesto territoriale, alle opere esistenti e connesse, analizzando nello specifico: il contesto agrario, il contesto forestale, il contesto geomorfologico, il contesto degli impianti già esistenti e ubicati nel territorio;
3. l'allestimento di un Piano di Biomonitoraggio consono sia al contesto territoriale che alla professionalità delle maestranze, in grado di poter essere applicato in tempi relativamente brevi e con costi non eccessivamente sostenuti.

2 - IL BIOMONITORAGGIO MEDIANTE LICHENI

La Direttiva 2008/99/CE del Parlamento e del Consiglio Europeo stabilisce misure per la protezione dell'ambiente attraverso il Diritto Penale. In Italia questa Direttiva trova la sua prima applicazione con il Decreto Legislativo 121/2011 relativo alla protezione delle specie animali e vegetali in via di estinzione o minacciate nonché ad alcuni habitat importanti. Tuttavia, è solo con la legge 68/2015 che la legislazione italiana ha introdotto nel Codice Penale una parte (titolo VI bis) specificamente dedicata ai reati contro l'ambiente, composta da dodici articoli, tra cui cinque nuovi articoli dedicati alla protezione dell'ambiente e dell'ecosistema. In questo contesto, è particolarmente rilevante l'articolo 452 bis intitolato "*inquinamento ambientale*": con questo articolo il legislatore ha specificato che sono punibili coloro che causano danni e deterioramenti, significativi e misurabili, di (i) *acqua, aria o suolo*, (ii) *ecosistema, biodiversità, flora o fauna*. Pertanto, mentre prima del 2015 l'ambiente è stato difeso solo al fine di preservare la sicurezza e la salute umana, con la legge 68/2015 l'ambiente in quanto tale ha acquisito per la prima volta in Italia il Diritto ad essere Protetto.

Secondo la Direttiva Europea 2008/50/CE (recepita dal D.Lgs.155/2010) che disciplina il controllo della



salubrità dell'aria, le sostanze di cui monitorare la concentrazione nell'aria a livello del suolo sono: monossido di carbonio (CO), biossido di zolfo (SO₂), ossidi di azoto (NO_x NO₂), ozono (O₃), particolato sottile (PM10 e PM2.5), piombo, benzene, arsenico, cadmio, mercurio, nichel e benzo[a]pirene (idrocarburi policiclici aromatici).

Per la misurazione vengono prevalentemente utilizzate centraline automatiche, fisse o mobili, dotate di analizzatori che in genere operano in continuo, oppure procedendo con l'analisi in laboratorio dei depositi sui filtri delle centraline di campionamento non dotate di analizzatori.

Questa metodica consente un rilevamento continuo, tuttavia l'elevato costo delle attrezzature impone un numero limitato di punti di rilevamento, per cui l'estensione del territorio monitorato sarà ridotta, oppure la griglia dei punti di rilevamento avrà delle maglie molto larghe e quindi una densità bassa. Inoltre, il numero di sostanze rilevabili attraverso tali centraline è contenuto, per cui altre sostanze vanno determinate indirettamente tramite l'analisi chimica del particolato. Oltretutto con questa metodica non vi sono indicazioni efficaci e dirette sulla salubrità eco-sistemica, relativamente alle interazioni aria-suolo-acqua-vegetazione-zoofauna.

Al fine di avere un quadro più completo della situazione ambientale di un territorio, risulta quindi interessante l'affiancamento del rilevamento biologico, basato sulla reazione di organismi viventi alla presenza di sostanze chimiche inquinanti. Questa tipologia di rilevamento presenta costi inferiori, semplicità di realizzazione, una maggior densità di punti di campionamento e indicazioni ecologiche di grande interesse, rivelandosi quindi uno strumento efficace per il controllo sia della qualità dell'aria sia della salubrità ambientale.

Uno degli organismi viventi maggiormente utilizzato nel monitoraggio biologico è il lichene, poiché presenta delle caratteristiche favorevoli (elevato rapporto superficie/volume, struttura vegetale particolare (simbiosi/consorzio), semplice organizzazione anatomica, assenza di cuticola. In particolare sono adoperati i licheni epifiti, che reagiscono alla presenza di inquinanti nell'aria accumulandoli all'interno dei propri tessuti, oppure con la modifica delle proprie strutture e funzioni. Questi processi si verificano anche quando i contaminanti sono presenti nell'atmosfera in bassissime concentrazioni.

Quando il processo che si verifica è la modifica dell'organismo, **i licheni sono definiti “bioindicatori”**, quando invece il processo che si verifica consiste nell'assorbimento delle sostanze inquinanti, **i licheni sono definiti “bioaccumulatori”**.

Oltre che per le sostanze di interesse della Direttiva citata, i licheni sono in generale bioaccumulatori di metalli pesanti, di radionuclidi, di non-metalli (come lo zolfo e il fluoro), di idrocarburi policiclici aromatici (IPA), di policlorobifenili (PCBs), diossine e furani.



3 - L'AREA D'INTERESSE

3a - ASPETTI GEOGRAFICI

L'area di interesse, delimitata dal riquadro verde nella fig.1, si trova nella Sardegna centro-occidentale, compresa prevalentemente nella regione storica del Marghine ma ricadente anche nelle parti periferiche del Meilogu, della Planargia, del Montiferru e del Guilcer.



Fig.1. Area di interesse nell'ambito delle regioni storiche della Sardegna.

Si estende (fig.2) sui territori comunali di Abbasanta, Aidomaggiore, Birori, Bolotana, Bonorva, Borore, Bortigali, Dualchi, Ghilarza, Lei, Macomer, Noragugume, Norbello, Pozzomaggiore, Santulussurgiu, Scano di Montiferro, Sedilo, Semestene, Silanus, Sindia e Soddì.



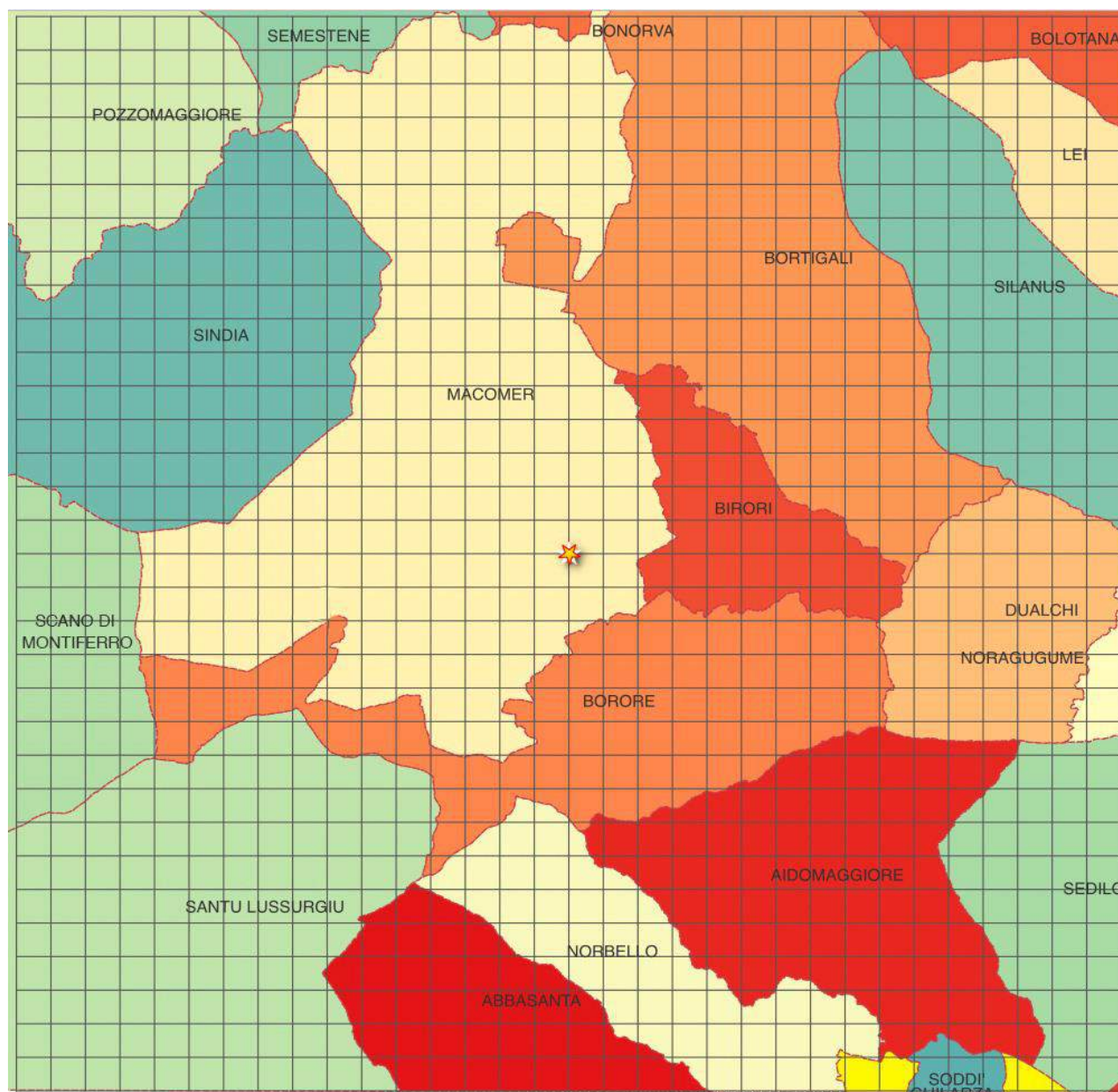


Fig.2. Area di interesse nell'ambito dei territori comunali. La stella indica la posizione del camino del termovalorizzatore. Ogni quadrato della griglia ha lato 0,75 km per un totale di 24 km di lato dell'area totale.

A livello cartografico, relativamente alla Carta Tecnica Regionale della Sardegna scala 1:10.000, ora ricompresa nel Database geotopografico DBGT_10K_22_V04 della Regione Sardegna, è compresa nell'interezza(*) o in una porzione(**) dei fogli n. 497 (sezioni 080**, 120** e 160**), n. 498 (sezioni 050*, 060*, 070*, 090*, 100*, 110*, 130*, 140* e 150*), n. 514 (sezione 040**) e n. 515 (sezioni 010*, 020*, 030*) e in porzioni piuttosto ridotte della sezione 040 del foglio 497, delle sezioni 010, 020, 030, 040, 080, 120 e 160 del foglio 498, della sezione 080 del foglio 514 e delle sezioni 040, 050, 060 e 070 del foglio 515 (fig.3).



A.T.P. "C.C.W.R" progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile
 Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;
 Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;
 Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.
 Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)



Fig.3. Area di interesse, delimitata dal riquadro verde, nell'ambito dei fogli della Carta Tecnica Regionale.

Il centro dell'area di interesse è coincidente con il camino dell'impianto di “TERMOVALORIZZAZIONE PRESSO IL SISTEMA DI TRATTAMENTO RIFIUTI DI MACOMER/TOSSILO”, le cui emissioni saranno l'oggetto del Piano di Biomonitoraggio.

Il termovalorizzatore in questione si trova nel distretto industriale di Tossilo (fig.4) situato in prossimità del centro abitato di Macomer, esteso a sud-est dell'area urbana per una estensione di circa 390 ettari.



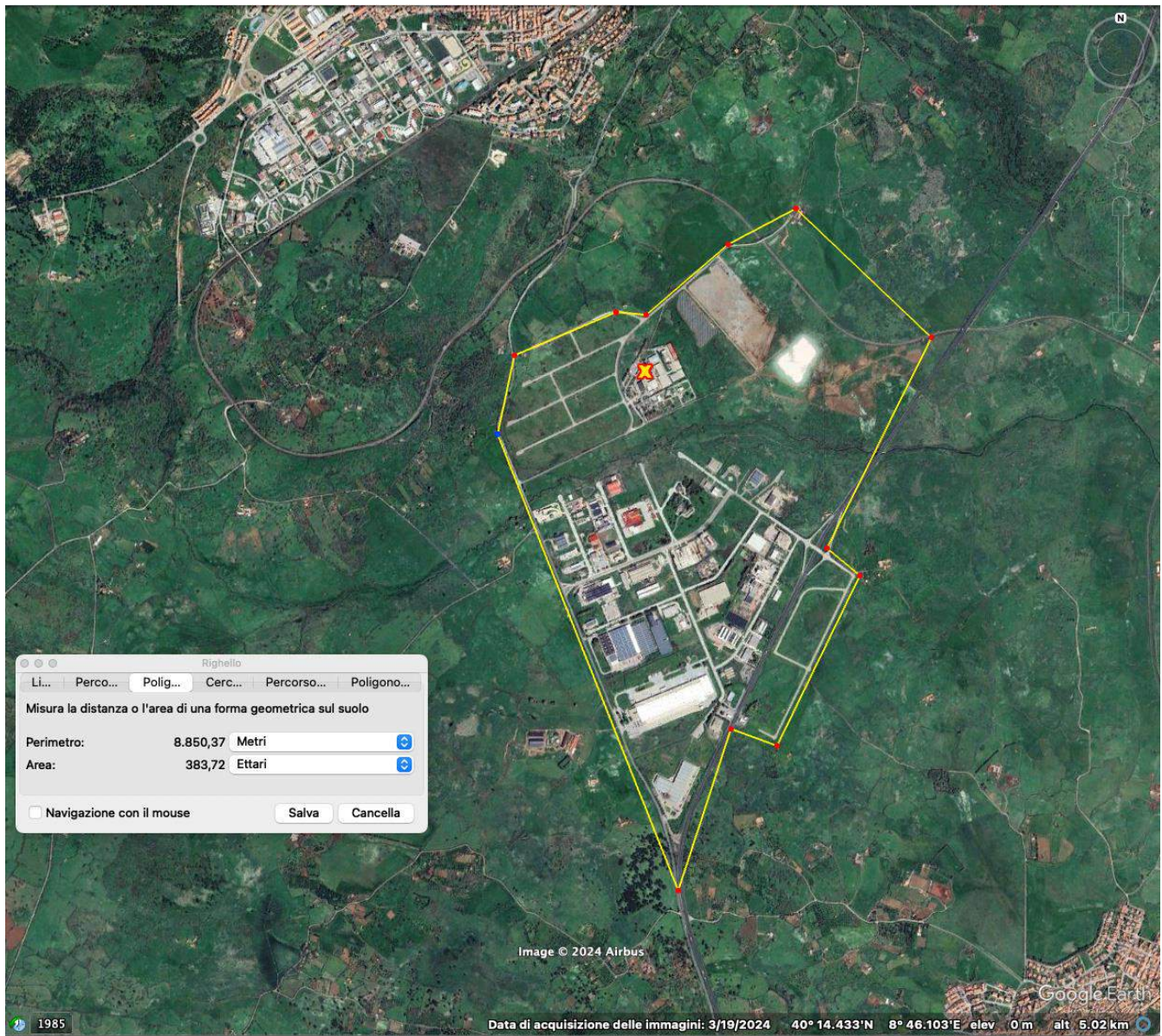
A.T.P. “C.C.W.R” progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile

Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;

Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;

Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.

Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)



*Fig.4. Ortofoto satellitare dell'area industriale di Tossilo (Macomer).
La X di colore giallo indica la posizione del camino del termovalorizzatore.*



A.T.P. "C.C.W.R." progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile
Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;
Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;
Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.
Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)



Fig.5. Ortofoto satellitare del territorio circostante l'area industriale di Tossilo, Macomer. L'area di monitoraggio è definita dal bordo grigio, ed è corrispondente a un quadrato con lato di 24 km e centro (punto rosso) sul camino del termovalorizzatore.

3b - ASPETTI MORFOLOGICI, GEOLOGICI E PEDOLOGICI

Dal punto di vista morfologico (fig.6) l'area si presenta suddivisa in due porzioni dalla Catena del Marghine, disposta con direzione NE-SW, avente quote decrescenti nella stessa direzione dai 1160 m s.l.m. dell'angolo a NE sino ai 600 m dell'abitato di Macomer, per poi risalire gradualmente verso il Montiferru con una successione di cime distinte sino a circa 1000 m in prossimità dell'abitato di Santulussurgiu, a SW. Ai due lati di queste formazioni, a degradare nelle direzioni opposte, si estendono a settentrione l'Altipiano di Campeda e a meridione l'Altipiano di Abbasanta, con versanti a limitata pendenza e conformazione a gradonatura irregolare, raggiungendo quote di circa 300 m in prossimità di Sindia a NW e Sedilo a SE e, in entrambe le zone, un notevole incremento di acclività con una riduzione



A.T.P "C.C.W.R" progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile
 Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;
 Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;
 Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.
 Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

di quota di circa 200 m in pochi chilometri.

Il reticolo idrografico è consistente, caratterizzato dalla presenza di numerosi corsi d'acqua sia a regime torrentizio perenne che stagionale, con andamenti piuttosto sinuosi legati alla natura del substrato litologico, infatti si può considerare una direzione generale NW-SE ma, a livello di singoli rami affluenti, uno sviluppo in ogni direzione.

L'uso del suolo è prevalentemente a pascolo e seminativo intensivo, accompagnato da vigneti e coltivazioni frutticole arboree e aree forestali naturali con le tipologie tipiche mediterranee.



Fig..6. Situazione morfologica e reticolo idrologico superficiale nell'area di interesse (base cartografica tratta dal DBGT RAS, fonte SITR-RAS).



A.T.P. "C.C.W.R" progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile
 Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;
 Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;
 Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.
 Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

La morfologia precedentemente descritta è influenzata dalle caratteristiche litologiche e giaciture. In una descrizione cronologica si possono distinguere differenti raggruppamenti descrivibili seguendo l'ordine cronologico della messa in posto.

Il basamento metamorfico paleozoico, che affiora in limitati punti, in cui si rinvengono litologie siluro-devoniche quali scisti fossiliferi (argilloscisti, metapeliti, metasiltiti, metacalcari) e porfiroidi (metarioliti e metariodaciti), entrambi elementi afferenti all'Unità tettonica di Ozieri, e da litologie carbo-permiane quali i granodioriti costituenti la facies di Bolotana afferente al complesso granitoide del Goceano-Bittese, accompagnati da varie formazioni filoniane quali filoni e ammassi apolitici, filoni basaltici, filoni di gabbro e filoni di quarzo mineralizzato.

Nella loro conformazione sia in colate, a formare espandenti subpianeggianti, che in domi e cupole, a formare rilievi isolati e rilievi estesi in catena, le litologie legate alle dinamiche effusive costituiscono la prevalenza degli affioramenti dell'area di interesse.

Si possono distinguere, in funzione degli eventi che le hanno originate, quelle legate al ciclo vulcanico calco-alcalino concomitante all'attività tettonica trascorrente, con formazione di importanti sistemi di faglie, subita dal blocco sardo-corso tra l'Oligocene inferiore e il Miocene e che ha originato vari prodotti vulcanici lavici e piroclastici di composizione basico-intermedia e acida, e quelle del vulcanismo plio-pleistocenico con messa in posto di grandi volumi ignei effusivi ed esplosivi.

A entrambe risultano coeve delle formazioni di origine sedimentaria, di ambiente litorale, fluvio-deltizio e continentale, costituite da argilliti, siltiti, arenarie e conglomerati, sabbioni conglomeratici talora fossiliferi, sabbie stratificate con intercalazioni argillose, calcareniti e calcari bioclastici e nodulari.

Le litologie oloceniche sono rappresentate da depositi continentali legati alla dinamica della messa in posto, tra cui i depositi alluvionali, terrazzati e non, le coltri eluvio-colluviali, i depositi di origine gravitativa, distinguibili tra corpi di frana e depositi di versante e i depositi palustri di limi e argille legati alla morfologia con numerosi bassi stagnali.

Infine sono presenti depositi antropici, legati soprattutto alle attività estrattive.

Le informazioni sovrastanti, intabellate, costituiscono la legenda della carta geologica mostrata nella fig.7, ripresa dalle fonti digitalizzate del SITR-RAS:



A.T.P. "C.C.W.R." progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile

Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;

Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;

Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.

Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

FACIES		SIGLA FACIES	UNITA'	SIGLA UNITA'	ETA'
1	Depositi antropici. Discariche minerarie.	h1m	Depositi olocenici dell'area continentale	A220	OLOCENE
2	Depositi antropici. Manufatti antropici.	ha	Depositi olocenici dell'area continentale	A220	OLOCENE
3	Depositi di versante. Detriti con clasti angolosi, talora parzialmente cementati.	a	Sedimenti legati a gravità	A221	OLOCENE
4	Depositi di frana. Corpi di frana antichi.	a1a	Sedimenti legati a gravità	A221	OLOCENE
5	Coltri eluvio-colluviali. Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica.	b2	Sedimenti legati a gravità	A221	OLOCENE
6	Depositi alluvionali.	b	Sedimenti alluvionali	A222	OLOCENE
7	Depositi alluvionali terrazzati.	bn	Sedimenti alluvionali	A222	OLOCENE
8	Depositi palustri. Limi ed argille limose talvolta ciottolose, fanghi torbosi con frammenti di molluschi.	e5	Sedimenti lacustri	A223	OLOCENE
9	Subunità di Sindia (BASALTI DELLA CAMPEDA-PLANARGIA). Basalti debolmente alcalini olocristallini, porfirici per fenocristalli di Ol, Pl, e rari xenocristalli quarzosi; in colate. Trachibasalti, trachibasalti debolmente alcalini, da olocristallini (...)	BPL4	Basalti dei plateau	B111	PLIOCENE SUP. - PLEISTOCENE
10	Subunità di Dualchi (BASALTI DELLA CAMPEDA-PLANARGIA). Andesiti basaltiche subalcaline, porfiriche per fenocristalli di Pl, Cpx, Opx, Ol; in estesi espandimenti. Trachibasalti e basalti debolmente alcalini, porfirici per fenocristalli di Pl, Ol, Cpx; (...)	BPL2	Basalti dei plateau	B111	PLIOCENE MEDIO? - PLEISTOCENE INFERIORE
11	Filoni alcalini. Trachibasalti, basalti alcalini talora fortemente porfirici per fenocristalli di Pl; trachibasalti e hawaiiiti con noduli peridotitici.	fn	Apparato vulcanico del montiferru	B112	PLIO- PLEISTOCENE
12	UNITÀ DI NURAGHE GENNA UDA. Andesiti basaltiche subalcaline (Genna Uda, M.te Urtigu, N.ghe Aranzola e N.ghe Tradori).	GUD	Apparato vulcanico del montiferru	B112	PLIO- PLEISTOCENE
13	UNITÀ DI SANTU LUSSURGIU. Trachiti, trachiti fonolitiche e fonoliti in cupole di ristagno e colate; depositi piroclastici stratificati e brecce vulcaniche.	LGI	Apparato vulcanico del montiferru	B112	PLIO- PLEISTOCENE
14	UNITÀ DI MONTE RASSU. Basalti alcalini, trachibasalti, hawaiiiti, a noduli peridotitici e gabbrici, con intercalazioni scoriacee, conici di scorie, tufi e filoni.	RSU	Apparato vulcanico del montiferru	B112	PLIO- PLEISTOCENE
15	UNITÀ DI ROCCA SA PATTADA. Basalti alcalini e trachibasalti debolmente alcalini, porfirici per fenocristalli di Pl e Cpx. (...)	STD	Apparato vulcanico del montiferru	B112	PLIO- PLEISTOCENE
16	Subunità di Thiesi (BASALTI DEL LOGUDORO). Basalti ad analcime, porfiriche per fenocristalli di Ol e Cpx, con abbondanti noduli peridotitici; in colate. Hawaiiiti olocristalline, porfiriche per (...)	BGD1	Basalti dei plateau	B111	PLIOCENE SUP.
17	Subunità di Campeda (BASALTI DELLA CAMPEDA-PLANARGIA). Basalti più raramente andesiti basaltiche subalcaline, porfiriche per fenocristalli di Pl, Opx, Cpx e Ol. Basalti e trachibasalti debolmente alcalini, porfirici per fenocristalli di Pl, Ol, Cpx; in (...)	BPL1	Basalti dei plateau	B111	PLIOCENE SUP.
18	Subunità di Funtana di Pedru Oe (BASALTI DELLA CAMPEDA-PLANARGIA). Basalti debolmente alcalini e trachibasalti, a grana minuta, porfirici per fenocristalli di Pl, Ol, Px; in estese colate.	BPL3	Basalti dei plateau	B111	PLIOCENE SUP.



A.T.P. "C.C.W.R." progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile

Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;

Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;

Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.

Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

19	FORMAZIONE DI NURAGHE CASTEDDU. Argilliti, siltiti, arenarie arcose, conglomerati, ad elementi subarrotondati di quarzo e metamorfiti, con resti vegetali; subordinate brecce eterometriche ad elementi di calcari mesozoici. Ambiente fluvio-deltizio e litorale (...)	NCA	Successione sedimentaria plio-pleistocenica	B120	PLIOCENE MEDIO
20	Litofacies nella FORMAZIONE DI MORES. Calcareniti, calcari bioclastici fossiliferi. Calcari nodulari a componente terrigena, variabile, con faune a gasteropodi (Turritellidi), ostreidi ed echinidi (Scutella, Amphiope) ("Calcari inferiori" Auct.). (...)	RESa	Successione sedimentaria oligo-miocenica del logudoro-sassarese	B211	BURDIGALIANO SUP
21	ARENARIE DI BORONEDDU. Sabbie grigio-giallastre, localmente stratificate, sterili, a componente micacea abbondante, con locali intercalazioni argillose e conglomeratiche. Ambiente da litorale a fluvio-deltizio.	RDU	Successione sedimentaria oligo-miocenica del bacino del tirso	B212	BURDIGALIANO SUP? - PLEISTOCENE SUP?
22	FORMAZIONE DI TADASUNI. Conglomerato basale, a componente arenacea variabile, con faune a molluschi (Ostrea e.m., Cardium, Pecten) ed echinodermi, passante verso alto ad arenarie. Alternanze marnoso-arenacee, in banchi decimetrici più o meno compatti (...)	TDI	Successione sedimentaria oligo-miocenica del bacino del tirso	B212	BURDIGALIANO MEDIO? - LANGHIANO
23	ARENARIE DI DUALCHI. Sabbioni conglomeratici rossastri e grigiastri, ad elementi paleozoici e vulcanici, localmente fossiliferi (scarsi e piccoli pettinidi), passanti verso l'alto a conglomerati fossiliferi. Ambiente fluvio-deltizio e litorale.	DAL	Successione sedimentaria oligo-miocenica del bacino del tirso	B212	BURDIGALIANO INFERIORE - MEDIO
24	ARENARIE DI SEDILO. Sabbioni conglomeratici, generalmente rossastri, ad elementi prevalentemente paleozoici e subordinatamente vulcanici. Abbondante flora fossile negli strati sommitali. Ambiente continentale.	SEI	Successione sedimentaria oligo-miocenica del bacino del tirso	B212	CHATTIANO SUP.? - BURDIGALIANO INF.
25	UNITÀ DI MONTE PEDRU. Andesiti basaltiche e basalti, porfirici per fenocristalli di Pl, Cpx, Opx, Ol; in potenti colate talora autoclastiche, cupole di ristagno, filoni, block and ash flows.	PED	Distretto vulcanico di capo marargiu	B222	BURDIGALIANO
26	UNITÀ DI MONTE RUGHE. Andesiti basaltiche ed andesiti ipocristalline, porfiriche per fenocristalli di Pl, Opx, Cpx, Am, Mag; in cupole di ristagno, con prodotti epiclastici associati.	MRH	Distretto vulcanico di capo marargiu	B222	AQUITANIANO - BURDIGALIANO
27	UNITÀ DI BORTIGALI. Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, a chimismo riodacitico, con cristalli liberi di Pl, rari Sa e Am, con strutture eutaxitiche.	BGA	Distretto vulcanico di bonorva	B224	BURDIGALIANO
28	UNITÀ DI MACOMER. Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, saldati, con strutture da vitroclastiche ad eutaxitiche; in bancate alternate a depositi piroclastici di flusso, caduta e di onda basale.	OER	Distretto vulcanico di bonorva	B224	BURDIGALIANO
29	Litofacies nell'UNITÀ DI MACOMER. Livelli piroclastici di flow, fall e surge, intercalati nell'unità OER.	OERb	Distretto vulcanico di bonorva	B224	BURDIGALIANO
30	UNITÀ DI MONTE SANTU PADRE. Alternanza di depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica saldati, a chimismo da dacitico a riolitico, con cristalli liberi di Pl, Sa, Cpx, Bt, Mag, con struttura eutaxitica, talora ricchi in litici poligenici;(...)	PDR	Distretto vulcanico di bonorva	B224	BURDIGALIANO
31	Litofacies nell'UNITÀ DI MONTE SANTU PADRE. Piroclastiti pomiceo-cineritiche e livelli epiclastici alla base dell'unità PDR.	PDRa	Distretto vulcanico di bonorva	B224	BURDIGALIANO
32	UNITÀ DI SEDILO. Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, a chimismo riodacitico, pomiceo-cineritici, debolmente saldati, spesso argillificati, ricchi in pomici, con cristalli liberi di Pl, Sa, Bt, Qtz.	EDI	Distretto vulcanico di ottana	B225	BURDIGALIANO



A.T.P. "C.C.W.R." progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile

Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;

Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;

Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.

Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

33	Filoni e ammassi aplitici.	ap	Corteo filoniano	D100	CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
34	Filoni basaltici a serialità transizionale, di composizione basaltica olivinica e trachibasaltica, a struttura porfirica per fenocristalli di Pl, Ol, Cpx, tessitura intersertale-ofitica.	fb	Corteo filoniano	D100	CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
35	Filoni di gabbro. Gabbri verde scuro, porfirici per fenocristalli di Pl, Aug, Hbl, tessitura ofitica.	fg	Corteo filoniano	D100	CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
36	Filoni idrotermali a prevalente quarzo, spesso mineralizzati a barite e fluorite, talora anche con solfuri metallici (Pb, Zn, Cu, Fe, etc).	fq	Corteo filoniano	D100	CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
37	Facies Bolotana (UNITÀ INTRUSIVA DI BONO). Granodioriti tonalitiche, biotitico-anfiboliche, a grana media, equigranulari, tessitura orientata.	BSAc	Complesso granitoide del goceano-bittese	D213	CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
38	SCISTI A GRAPTOLITI AUCT. Metapeliti carboniose e metasiltiti con graptoliti, con intercalati livelli di diaspri neri (liditi).	SGA	Unità tettonica di ozieri	E142	SILURIANO - DEVONIANO MEDIO
39	Litofacies negli SCISTI A GRAPTOLITI AUCT. Metacalcri scuri e metacalcri nodulari fossiliferi, con abbondanti crinoidi e ortoceratidi.	SGAa	Unità tettonica di ozieri	E142	SILURIANO - DEVONIANO MEDIO
40	ARGILLOSCISTI DI RIO CANONI. Metapeliti grigio-verdastre, metasiltiti carbonatiche fossilifere, rare intercalazioni di metacalcri e di metavulcaniti basiche.	ACN	Unità tettonica di ozieri	E142	ORDOVICIANO SUP.
41	PORFIROIDI AUCT. Metarioliti e metariodaciti con struttura occhiadina, metaepiclastiti.	PRF	Unità tettonica di ozieri	E142	ORDOVICIANO MEDIO?



A.T.P. "C.C.W.R." progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile

Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;

Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;

Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.

Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

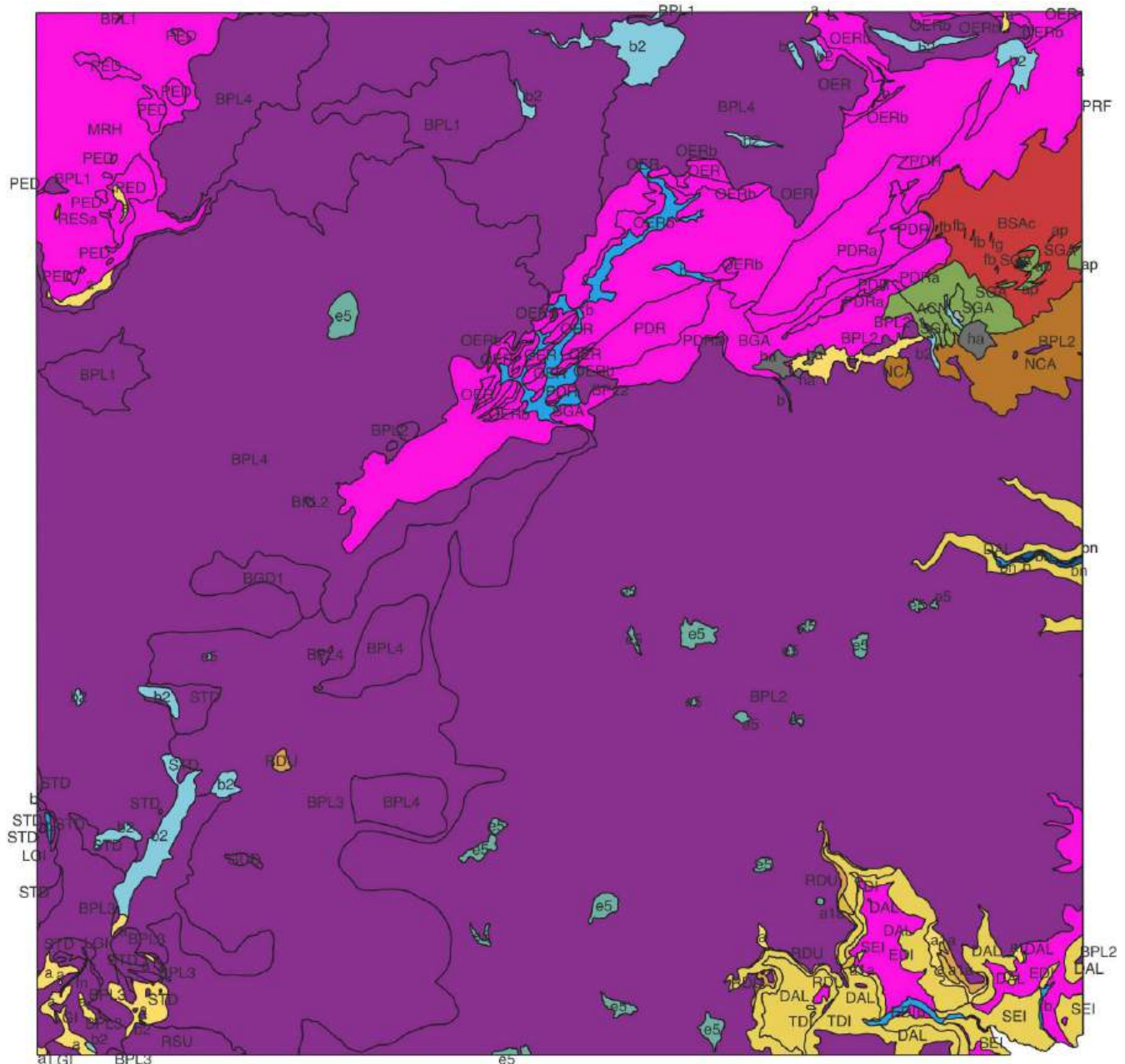


Fig.7 - Geologia dell'area di interesse (base cartografica dell'elaborazione tratta dal SITR-RAS.).

I suoli derivano dal verificarsi di un insieme di processi pedogenetici determinato da vari fattori, tra i quali tipologia e caratteristiche chimico-fisiche del substrato litologico, conformazione morfologica della superficie. La natura delle rocce determina le caratteristiche fisiche, chimiche e mineralogiche dei suoli, ne indirizza l'evoluzione, e contemporaneamente influenza la biodiversità floristica e vegetazionale che su suoli si sviluppa. Si può quindi partire dalla distinzione tra le unità litologiche presenti per individuare e accorpate i vari suoli presenti nel territorio in aree omogenee, di cui è poi possibile precisare ulteriori distinzioni in base agli altri fattori pedogenetici.

A.T.P "C.C.W.R" progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile

Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;

Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;

Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.

Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)



Per quanto riguarda l'area di interesse sono presenti le seguenti situazioni geopedologiche:

Sulle litologie paleozoiche, date da metamorfiti e corpi granitici, si rinvengono suoli a vario grado evolutivo in funzione della conformazione e del grado di copertura vegetale: da poco evoluti, sulle sommità e nei tratti a pendenza elevata (che negli areali della zona di studio risultano essere prevalenti), a mediamente evoluti con caratteri cambici ove la pendenza si riduce, sino a evoluti con caratteri argillici ove la vegetazione si addensa e la pendenza è ridotta, o vi sono accumuli gravitativi come depositi di versante. Prevalenti Typic, Lithic e Distric Xerorthents e Typic e Lithic Dystroxepts, subordinati Palexeralfs.

Sulle vulcaniti oligomioceniche, differenziate per il minor o maggior grado di acidità, ove si hanno forme aspre e pendenze elevate, si rinvengono prevalentemente suoli a ridotto grado evolutivo e suoli troncati (Typic e Lithic Xerorthents) accompagnati da roccia affiorante. Con la riduzione di acclività è possibile la presenza di suoli con orizzonti cambici (Typic e Lithic Dystroxepts), sempre limitati dalla ridotta alterabilità del litotipo. Nelle aree di accumulo possono assumere caratteri vertici. I suoli a quote più elevate e con buona copertura vegetale possono presentare caratteri andici per la presenza di materiali amorfi.

Nelle aree con vulcaniti basiche, ove la morfologia è subpianeggiante e tabulare, i suoli appartengono per lo più ai sottogruppi tipici degli Xerorthents e Dystroxepts, che assumono caratteri vertici nelle depressioni. Quando l'acclività aumenta compaiono suoli troncati (sottogruppo Lithic) e tratti di roccia affiorante.

Nelle aree sulle litologie sedimentarie calcareo-arenacee e conglomeratiche del Miocene, con una morfologia lievemente ondulata, la prevalenza è di suoli mediamente evoluti con orizzonte cambico (Typic Dystroxepts o Calcixerepts), che nei punti di accumulo possono presentare caratteri argillici e persino vertici, mentre nelle parti sommitali dei versanti il grado evolutivo è ridotto (Typic e Lithic Xerorthents).

Nelle limitate litologie oloceniche alluvionali, riscontrabili lungo le maggiori aste fluviali, si rinvengono suoli con gradi di evoluzione piuttosto spinti, in relazione all'età e al tipo litologico del bacino di alimentazione. I suoli appartengono in prevalenza ai grandi gruppi dei Palexeralfs ed Haploxeralfs tipici, talora calcici, e ai grandi gruppi dei Xerofluvents e Dystroxepts, subordinatamente Xererts, a tratti con drenaggio lento e segni di idromorfia. Sulle litologie oloceniche di origine gravitativa ed eluvio-colluviale la discriminante è data dal grado di pendenza, con suoli a media evoluzione che passano a suoli a profilo A-Bt-C dove l'energia è ridotta, con prevalenza di Dystroxepts/Haploxerepts e subordinatamente di Palexeralf e Haploxeralfs.



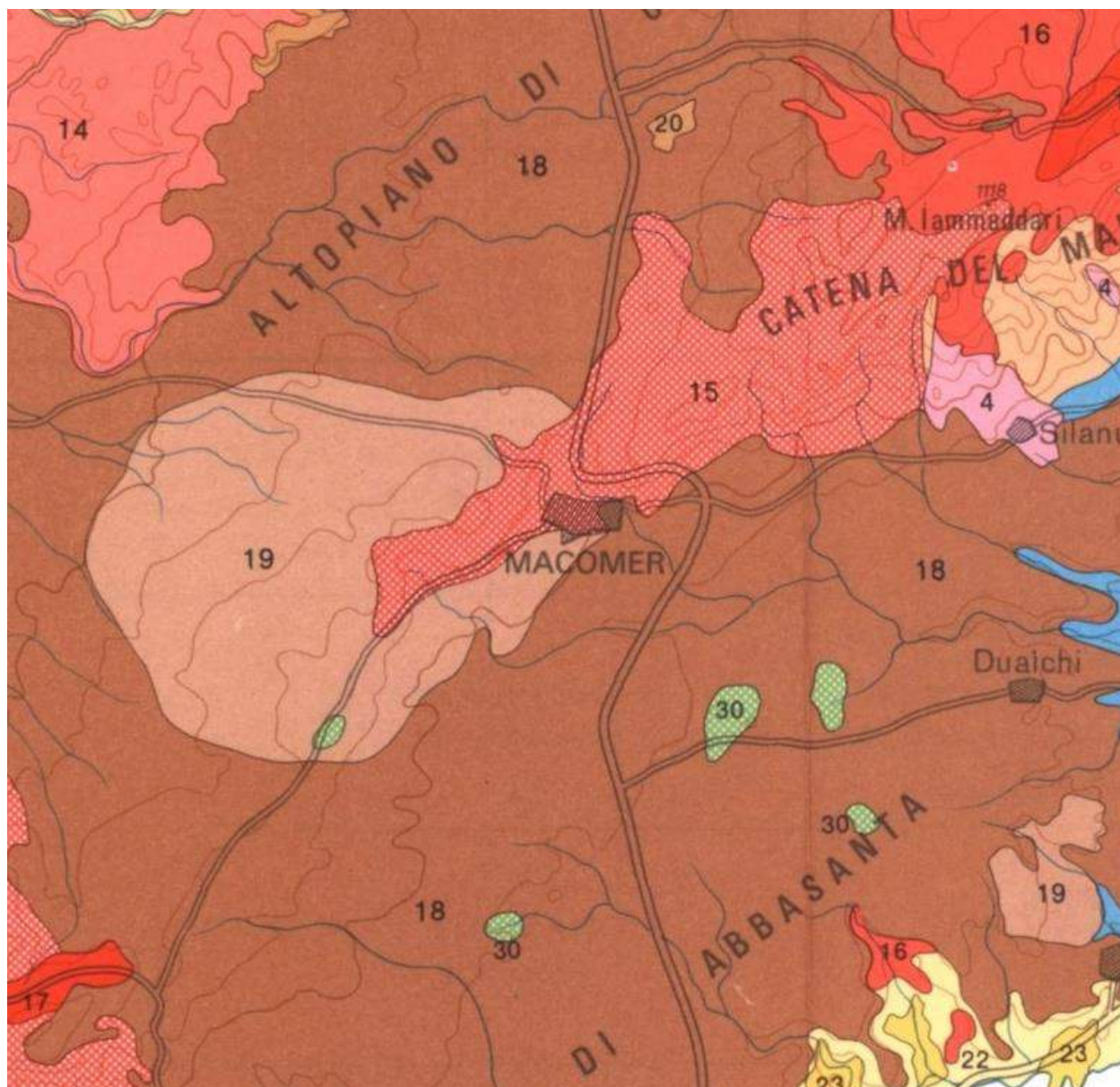


Fig.8 - Pedologia dell'area di interesse (estratto della carta dei suoli della Sardegna, scala 1:250000, Aru et alii, 1991, RAS-UNICA).

3c - ASPETTI CLIMATICI

Per un rapido quadro climatico della zona si fa riferimento, per quanto riguarda termometria e pluviometria, ai dati registrati nella stazione meteorologica RAS di Macomer e messi a disposizione dal Settore Idrografico del Servizio Difesa del Suolo, Assessorato dei Lavori Pubblici della Regione Autonoma della Sardegna.

Per la pluviometria i dati disponibili partono dal 1922 e arrivano al 1992, pur con due brevi interruzioni, quindi coprendo un arco temporale di quasi settant'anni.

Per le temperature i dati disponibili partono dal 1930 e arrivano al 1992, ma con una interruzione di circa



A.T.P. "C.C.W.R" progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile
 Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;
 Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;
 Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.
 Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

un decennio, quindi coprendo un arco temporale di circa cinquant'anni.

I dati sono riportati nelle seguenti tabelle e utilizzati per la realizzazione dei sottostanti diagrammi (figg.9-11).

Dalla osservazione di questi dati per l'area di interesse il regime di **umidità risulta essere xerico**, il regime di **temperatura risulta essere termico**, il clima è di tipo mediterraneo, caratterizzato da una forte variabilità temporale e spaziale.

Per i dati della ventosità si è fatto riferimento ai diagrammi sviluppati dai dati meteo simulati realizzati da una azienda statunitense di elaborazione dati meteorologici, la Meteoblu¹

Vengono riportati un diagramma sulla ventosità (numero di giornate in cui il vento ha raggiunto una certa velocità durante un mese, fig.12) e una rosa dei venti (totale ore all'anno in cui il vento soffia dalla direzione indicata, fig.13).

I diagrammi sono affiancati dalle tabelle di dati che specificano numericamente per quanto tempo si sono sviluppati venti nelle specifiche direzioni, distinti per intervalli di velocità e per intervalli mensili.

La struttura della rosa dei venti è coerente con i dati e le risultanze esposte nello studio della simulazione della dispersione inquinanti realizzato da CINIGeo (Consorzio Interuniversitario Nazionale per l'Ingegneria delle Georisorse tra le Università di Bologna, Cagliari, Roma "La Sapienza", Trieste), eseguito dal prof. ing. Giorgio Massacci (ordinario di Sicurezza del Lavoro e Difesa Ambientale e di Valutazioni d'Impatto e Recupero Ambientale presso l'Università di Cagliari) in qualità di responsabile dello studio e dall'ing. Cristina Levanti (CINIGeo) per conto di TOSSILO TECNOSERVICE s.p.a., dal titolo "IMPIANTO DI TERMOUTILIZZAZIONE - DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI IN ATMOSFERA" e datato Giugno 2019.

MACOMER – TERMOMETRIA – dati corretti – temperature (°C)														
Anno	DM	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media
1922	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1923	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1924	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1925	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1926	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1927	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1928	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1929	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1930		8,0	6,0	9,4	11,2	14,9	22,0	22,3	22,6	20,3	15,1	11,7	7,7	14,3
1931		6,3	3,7	10	10,5	14,1	22,7	23,6	24,6	16,6	16,1	11,3	4,3	13,7
1932		6,7	4,4	8,8	9,7	14,6	17,5	20,3	24,2	22,3	15,2	11,1	9,4	13,7

¹Info sull'azienda: <https://content.meteoblue.com/it/chi-siamo>

Info sui dati storici: <https://www.meteoblue.com/it/historyplus>

Info sulla metodica di verifica dei dati simulati: <https://content.meteoblue.com/it/ricerca-istruzione/precisione-dati-meteorologici>

A.T.P. "C.C.W.R" progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile

Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;

Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;

Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.

Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)



1933		5	5,9	8,1	11,8	14,5	16,4	22,7	22,8	20,7	16	9	5,8	13,3
1934		5,2	5,6	7,7	11,9	17,1	19,2	22,5	21,4	19	13,5	9,6	8,8	13,5
1935		2,8	6,5	8,3	11,9	15,4	22,2	24,2	23,2	21,6	16,4	13,2	7,2	14,4
1936		9,3	7,8	9,7	12,3	15	18,2	23	23	21,8	14,6	11,9	9,5	14,7
1937		12,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1938		12,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1939		7,7	8,7	7,5	13,9	13,5	19,8	24,9	24,3	20,0	16,1	12,1	6,2	14,6
1940		3,4	7,3	10,0	11,2	14,7	18,7	23,1	23,1	21,6	15,2	10,5	4,4	13,6
1941		6,4	7,0	9,7	11,1	13,2	21,1	24,6	23,3	20,0	14,8	10,7	6,8	14,1
1942	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1943	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1944	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1945	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1946	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1947	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1948	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1949	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1950	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1951	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1952	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1953		5,0	5,3	8,8	13,8	16,6	18,4	24,7	23,2	22,4	17,1	12,5	10,9	14,9
1954		5,3	6,3	10,1	11,4	13,8	20,4	20,2	21,3	21,4	15,2	11,4	10,2	14,0
1955		9,6	8,9	10,2	13,4	18,0	21,8	24,9	23,5	19,1	15,0	10,4	10,1	15,5
1956		8,7	1,7	9,3	12,4	17,7	19,1	25,8	26,8	24,4	15,9	10,2	8,5	15,1
1957		8,4	10,3	12,5	13,4	16,2	23,6	25,9	26,4	23,4	18,7	13,9	8,4	16,8
1958		8,3	10,9	7,9	11,7	20,3	22,0	24,6	27,3	26,2	18,4	13,1	11,0	16,8
1959		8,4	10,7	12,5	13,9	17,1	21,6	25,7	24,6	23,6	17,0	11,3	9,3	16,3
1960		8,5	10,3	11,1	12,9	18,3	22,8	23,1	25,5	20,4	17,0	13,8	8,2	16,0
1961		8,6	11,2	11,3	14,4	17,2	21,5	22,0	24,8	24,6	18,0	12,8	9,9	16,4
1962		9,6	7,9	9,4	14,1	18,1	21,3	26,2	26,8	23,5	18,9	10,4	7,5	16,2
1963		6,7	6,5	10,4	14,6	16,8	22,2	27,0	25,3	22,2	16,5	15,0	10,1	16,2
1964		8,8	8,5	11,8	13,9	20,1	24,6	26,9	25,3	23,6	16,1	13,4	9,0	16,9
1965		8,1	6,3	10,9	12,3	17,8	23,4	27,1	25,5	21,2	19,2	13,3	10,7	16,4
1966		8,8	12,0	10,1	14,8	18,2	23,6	23,4	25,4	22,9	18,2	9,9	8,9	16,4
1967		8,3	10,4	12,7	13,6	18,6	21,3	27,9	27,6	22,2	20,1	14,6	8,1	17,2
1968		7,3	9,8	11,5	16,2	18,5	21,6	26,0	24,0	22,0	18,8	12,3	8,3	16,4
1969		7,3	6,5	9,6	12,4	18,2	18,3	23,0	23,9	20,6	17,3	12,2	5,7	14,6
1970		8,4	7,6	8,7	12,0	15,4	21,9	24,1	24,9	23,1	16,3	12,5	8,5	15,3
1971		7,0	7,4	6,5	13,9	16,7	19,6	24,6	28,0	20,7	16,3	9,7	8,4	14,9
1972		6,8	8,4	11,5	11,7	15,0	21,4	23,2	23,0	18,5	16,2	13,5	9,3	14,9
1973		7,5	6,5	8,7	11,3	19,0	21,7	24,6	25,7	21,9	16,5	11,1	7,6	15,2
1974		9,0	7,8	10,7	11,1	16,6	20,7	24,0	24,8	20,9	12,3	10,5	8,3	14,8
1975		8,0	7,8	8,6	11,7	16,0	19,5	24,9	22,9	22,3	13,9	10,2	7,8	14,5
1976		6,6	7,6	9,5	10,8	16,6	21,2	22,4	22,4	18,5	18,1	8,6	7,8	14,2
1977		7,7	9,9	11,8	11,9	17,4	19,7	23,8	21,7	19,5	17,0	10,9	7,8	15,0
1978		5,3	8,1	10,3	10,4	15,0	20,0	23,8	23,7	20,0	14,9	9,5	9,3	14,2
1979		6,9	8,1	10,0	11,0	17,3	23,0	24,3	23,9	19,2	16,6	9,1	8,2	14,8
1980		7,1	8,8	9,8	10,1	13,4	19,6	21,4	24,7	21,4	14,9	10,9	5,2	14,0
1981		4,6	6,1	11,7	14,0	16,4	21,8	23,1	24,7	21,4	17,6	9,9	8,0	15,0
1982		8,6	8,1	9,0	12,2	16,4	23,6	28,1	26,1	22,3	16,2	12,3	7,7	15,9
1983		6,2	5,6	9,6	13,3	17,9	22,8	28,2	24,1	21,4	16,1	12,3	8,0	15,5
1984		6,3	5,7	7,8	11,6	14,0	19,5	24,9	22,7	18,9	15,5	13,0	7,9	14,0
1985		4,1	9,2	8,5	12,8	16,0	22,0	26,7	25,0	21,9	16,2	10,6	8,9	15,2

A.T.P "C.C.W.R" progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile

Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;

Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;

Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.

Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)



1986	6,3	6,3	9,4	12,2	18,0	19,2	24,3	25,5	21,6	16,7	12,7	7,2	15,0
1987	5,9	6,9	6,7	12,5	13,8	19,2	24,4	24,8	23,1	18,1	10,5	9,6	14,7
1988	8,4	6,4	8,0	12,1	16,4	19,7	24,6	23,8	19,0	17,9	10,5	6,8	14,5
1989	7,2	8,0	11,5	10,7	15,6	18,6	23,8	23,6	19,0	14,6	11,0	9,9	14,5
1990	7,5	10,4	9,7	10,1	16,1	20,2	22,9	22,3	20,3	18,0	9,8	5,3	14,4
1991	6,9	6,8	10,9	9,3	11,7	18,9	23,7	24,0	21,1	14,6	9,7	6,5	13,7
1992	7,0	6,9	9,0	11,6	16,9	17,6	22,4	24,5	20,4	14,6	12,3	8,4	14,3
N.Oss,	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
Media	7,1	7,6	9,7	12,3	16,3	20,7	24,3	24,3	21,3	16,4	11,5	8,1	15,0
Dev.St.	1,6	2,0	1,5	1,5	1,9	1,9	1,8	1,5	1,8	1,6	1,5	1,6	1,0

MACOMER - PLUVIOMETRIA - Dati corretti - Altezze di pioggia (mm)															variazione % dalla media	variazione % dall'anno precedente
Anno	DM	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Totale annuo		
1922		56,0	25,0	67,0	39,0	27,0	1,0	0,0	4,0	46,0	76,0	52,0	106,0	499,0	-44,9	
1923		36,0	128,0	44,0	127,5	23,5	71,5	0,0	0,0	107,0	32,0	220,0	264,5	1054,0	16,4	111,2
1924		89,0	187,0	95,0	51,5	22,0	12,0	5,0	1,0	11,0	108,5	33,0	115,0	730,0	-19,4	-30,7
1925		8,0	87,0	69,5	86,0	99,0	13,5	42,0	9,0	15,5	101,0	95,0	76,0	701,5	-22,5	-3,9
1926		70,0	8,0	26,0	114,0	48,0	1,0	23,0	0,0	12,0	30,0	130,0	50,0	512,0	-43,4	-27,0
1927	1	0,0	71,0	59,0	11,0	29,0	0,0	0,0	0,0	15,0	130,0	80,0	217,0	-	-	-
1928	3	89,0	20,0	163,0	83,0	59,0	0,0	0,0	0,0	162,0	70,0	0,0	0,0	-	-	-
1929	1	0,0	47,0	15,0	43,5	25,5	10,0	0,0	39,5	47,5	145,0	139,5	78,0	-	-	-
1930		125,5	130,5	116,0	193,5	48,0	18,0	4,3	15,0	81,0	69,0	32,0	74,5	907,3	0,2	-
1931		58,5	101,3	73,5	59,5	43,5	0,0	0,0	0,0	73,5	217,5	84,5	711,8	-21,4	-21,5	
1932		9,0	67,5	100,5	63,5	20,5	17,5	6,5	25,0	66,5	78,5	91,0	76,5	622,5	-31,2	-12,5
1933		70,5	152,0	41,5	52,0	5,0	31,0	0,0	21,0	136,0	88,0	277,0	117,5	991,5	9,5	59,3
1934		27,0	130,5	110,5	118,5	82,5	12,5	21,0	24,5	8,0	26,5	188,0	235,5	985,0	8,8	-0,7
1935		124,0	45,5	186,5	30,5	90,5	0,0	9,0	37,5	31,0	111,5	183,0	252,5	1101,5	21,7	11,8
1936		128,1	86,0	187,0	176,6	68,2	63,2	0,0	24,8	15,9	23,3	89,9	47,2	910,2	0,5	-17,4
1937		61,9	133,1	234,9	39,9	58,8	11,6	7,7	24,6	60,5	61,5	131,5	254,0	1080,0	19,3	18,7
1938		73,2	108,0	17,5	29,2	132,6	5,0	0,0	4,5	156,9	105,2	110,1	122,4	864,6	-4,5	-19,9
1939		162,6	16,2	122,3	40,6	113,2	46,8	0,0	90,4	179,5	120,9	60,1	202,9	1155,5	27,6	33,6
1940		164,3	43,0	26,8	56,8	72,2	36,2	3,8	0,0	24,4	255,6	161,4	146,8	991,3	9,5	-14,2
1941		200,7	294,6	58,4	102,9	36,1	15,7	7,5	0,0	71,9	75,9	80,4	66,5	1010,6	11,6	1,9
1942		200,8	357,3	28,7	98,6	22,4	47,8	0,0	7,5	109,9	3,9	68,5	80,6	1026,0	13,3	1,5
1943		117,8	70,6	114,1	8,9	58,8	0,0	0,0	0,0	27,0	147,0	164,8	119,5	828,5	-8,5	-19,2
1944		9,9	123,7	49,7	36,9	42,6	6,8	0,0	44,0	32,7	129,8	49,2	40,9	566,2	-37,5	-31,7
1945		239,2	7,4	16,3	16,2	3,4	1,2	0,0	8,9	56,1	53,9	44,7	142,8	590,1	-34,8	4,2
1946		50,6	0,8	78,5	121,5	47,1	4,1	0,9	13,5	0,0	183,6	256,9	266,1	1023,6	13,1	73,5
1947		75,5	262,1	33,6	25,2	13,7	0,0	10,2	76,3	36,0	168,4	107,5	149,0	957,5	5,8	-6,5
1948		240,7	65,1	0,0	108,7	151,5	31,7	16,0	1,5	91,6	89,2	15,7	55,3	867,0	-4,2	-9,5
1949		53,0	54,2	46,3	38,8	143,3	13,5	15,9	0,0	35,8	77,0	270,2	135,1	883,1	-2,5	1,9



A.T.P. "C.C.W.R" progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile
 Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;
 Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;
 Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.
 Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

1950	15,1	67,1	72,0	281,0	6,0	15,0	0,0	10,0	201,0	93,0	162,0	44,0	966,2	6,7	9,4
1951	131,0	94,0	159,0	25,5	147,5	8,0	4,0	30,0	37,0	275,0	166,0	75,0	1152,0	27,3	19,2
1952	196,6	294,4	30,0	49,5	15,0	0,0	15,3	7,0	194,0	77,0	114,8	320,5	1314,1	45,2	14,1
1953	170,0	189,0	33,0	71,5	115,0	201,0	0,0	27,0	38,0	110,5	40,5	45,5	1041,0	15,0	-20,8
1954	83,5	131,0	93,0	85,5	66,5	47,5	0,0	4,5	3,5	2,5	87,5	105,5	710,5	-21,5	-31,7
1955	147,0	260,5	131,3	29,0	1,0	8,0	4,5	28,0	95,5	26,0	121,0	120,0	971,8	7,3	36,8
1956	81,0	126,6	82,0	126,0	30,0	32,0	0,0	6,0	57,0	83,0	152,0	78,0	853,6	-5,7	-12,2
1957	93,0	58,0	14,0	62,0	123,0	15,0	0,0	6,5	4,0	50,5	182,4	252,7	861,1	-4,9	0,9
1958	107,7	34,0	145,5	182,0	16,0	4,0	0,0	0,0	52,0	112,0	178,0	218,5	1049,7	16,0	21,9
1959	97,0	46,0	117,0	78,0	161,1	8,0	0,0	20,1	31,3	307,2	99,1	255,0	1219,8	34,7	16,2
1960	115,8	79,3	193,2	134,2	12,0	3,0	0,0	0,0	27,0	188,0	176,0	291,0	1219,5	34,7	0,0
1961	190,0	11,0	0,0	137,6	24,7	6,5	0,0	0,0	31,0	174,0	292,8	113,2	980,8	8,3	-19,6
1962	21,1	106,2	83,0	74,0	6,0	56,0	1,0	0,0	58,5	46,1	388,5	172,8	1013,2	11,9	3,3
1963	185,6	310,2	52,0	95,0	90,4	19,0	73,6	35,9	224,0	35,6	102,0	315,9	1539,2	70,0	51,9
1964	0,0	144,1	171,9	85,0	12,0	10,7	3,5	57,6	13,0	214,5	49,6	222,0	983,9	8,7	-36,1
1965	115,6	100,7	194,6	53,5	24,5	28,5	0,0	0,0	88,0	50,0	178,0	120,5	953,9	5,4	-3,0
1966	140,5	217	64	28,5	83	15	38	5,5	66,5	329,5	211,5	179	1378	52,2	44,5
1967	84,7	99,5	17	63	65,5	10,5	0	1,5	21,5	20	150,5	178,7	712,4	-21,3	-48,3
1968	176,9	70	42,5	84,5	20	51,5	0,5	100	6	14,5	281,5	250,2	1098,1	21,3	54,1
1969	112,7	115,8	151	36	77	33	10,5	23,5	87	23,5	144,5	204,5	1019	12,6	-7,2
1970	156,5	27,3	76,8	37,5	31	25	0	3	0	12	83	91	543,1	-40	-46,7
1971	117	99	128,3	55,5	32,5	16	8	7,5	31	26,2	263,5	88,1	872,6	-3,6	60,7
1972	101,3	229,5	83	72	121	17	4	0	19,5	87	31,5	80	845,8	-6,6	-3,1
1973	143,5	117,5	84	89,5	5	44,5	18	7,5	60,5	27	99,5	88	784,5	-13,3	-7,2
1974	69	199	81	212,5	18	2	1,5	0	62,5	132	85	51	913,5	0,9	16,4
1975	40	81,5	204,6	70	42,5	20	0	49	20	144	176	58,5	906,1	0,1	-0,8
1976	21,8	144	112,5	85	41	44,5	14,5	21,5	47	16,5	225	137	910,3	0,6	0,5
1977		70,5	41	45	2	115,5	3,5	91,5	41,5	79,5	98	96,5	807,5	-10,8	-11,3
1978	123	149	75,5	184	77	13	0	7,5	51,5	57,5	117	200,5	1166	28,8	44,4
1979	233,5	141	106	82,5	1	30	20	12	81,5	67,5	153	139	994,2	9,8	-14,7
1980	1	99	25	89	44,5	224	-	0	20	0	175	216	-	-	-
1981	115,2	46	14,4	78	27	12	0	0	106,4	146	0	208	753	-16,8	-
1982	43,4	52	50,4	17	39	7	0	1	31	208,4	103	172	724,2	-20	-3,8
1983	17,5	128	118	21	0	14,5	3	29,5	39	28	154,5	97	650	-28,2	-10,2
1984	74	89,4	109	51	200	26	0	26,4	51	51,4	244	45,4	967,6	6,9	48,9
1985	109,6	58	218,4	11,4	99,8	5	0	0	37	34,8	192,2	0,4	766,6	-15,3	-20,8
1986	266	234	76	162	4	19	33,4	0	18,4	55	55	85,8	1008,6	11,4	31,6
1987	91,2	57,4	29,4	8,8	24,6	13,8	23,6	0	29,2	19	94,8	47,6	439,4	-51,5	-56,4
1988	210,4	76,2	110,4	98,6	44,2	26,8	0	1	22,8	70,4	20	77,8	758,6	-16,2	72,6
1989	26	113,6	33,2	200	33,8	53,6	3	0,4	60,4	29	94	46,8	693,8	-23,4	-8,5
1990	49,2	49,2	94	178,2	53,8	10,4	6,2	45	6,6	178	110,2	143,6	924,4	2,1	33,2
1991	10,8	59	85,6	123	97,8	11,6	5,4	24,4	108,2	187,4	149,8	9,4	872,4	-3,6	-5,6
1992	125	27,2	41,4	63,6	38,2	73,8	6,6	5	19	166,6	53,4	127	746,8	-17,5	-14,4
N,Oss,	69	71	71	71	71	70	71	71	71	71	70	70	67		
Media	104,5	107,7	85,8	80,9	55,5	23,5	6,7	16,7	55,2	96,7	134,9	133,4	905,3		
Dev.St	65	79,1	56,5	56,3	49,6	30,4	12,3	23	51	73,3	78	78,2	209,8		



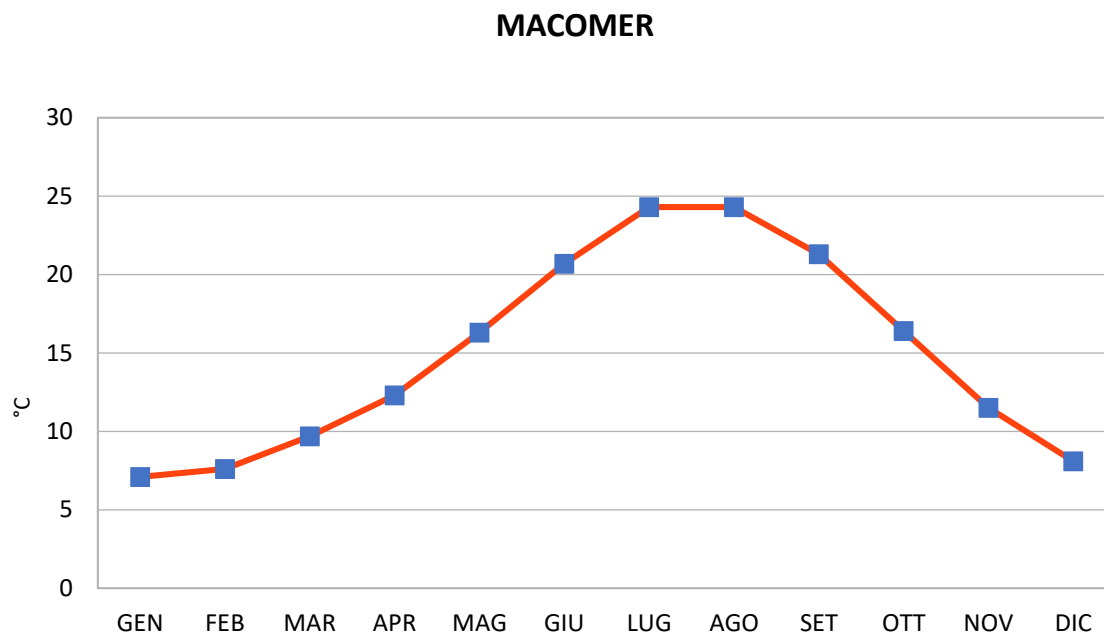


Fig.9. grafico delle temperature

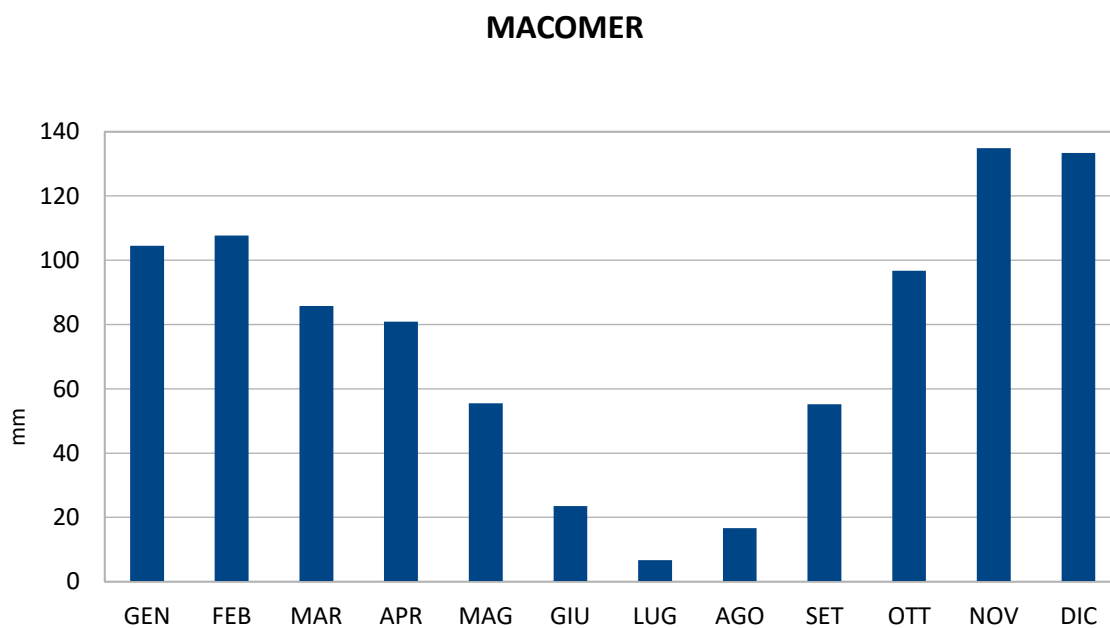


Fig.10. grafico delle precipitazioni



MACOMER

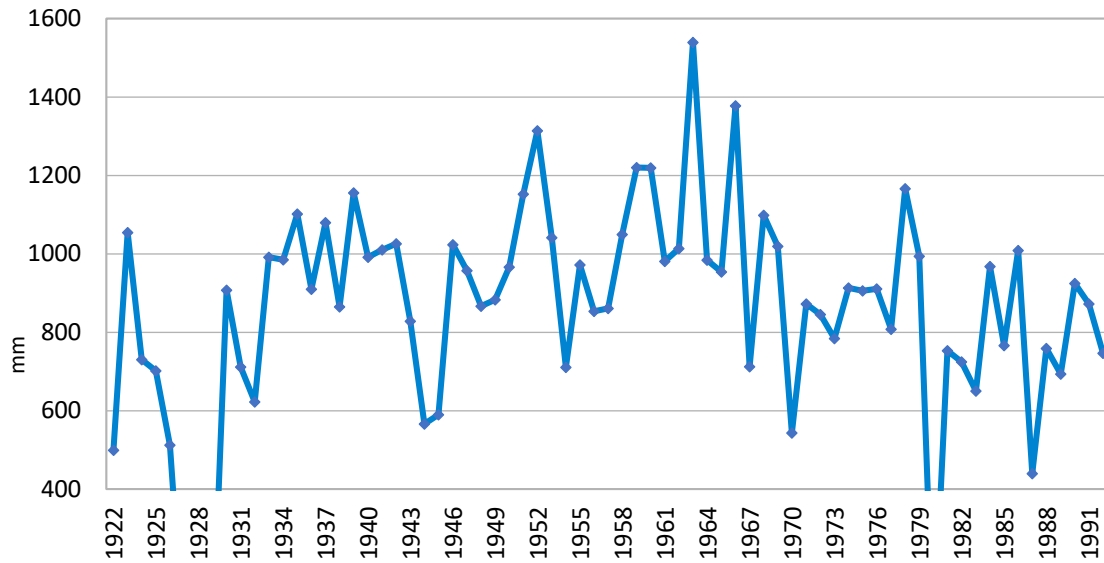


Fig.11. grafico delle precipitazioni annue

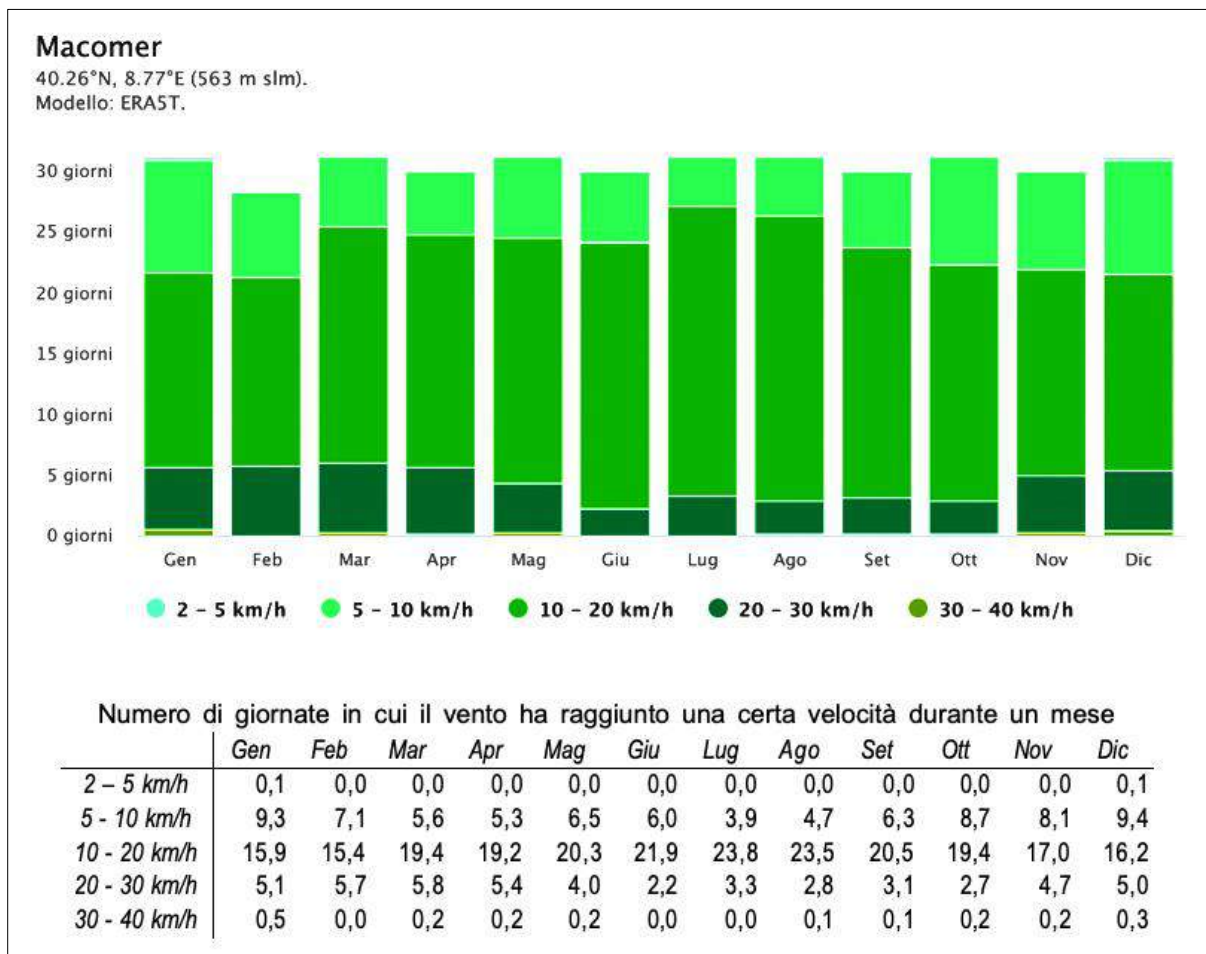


Fig.12. giornate di ventosità rapportate alla velocità nel singolo mese



A.T.P. "C.C.W.R." progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile
 Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;
 Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;
 Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.
 Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

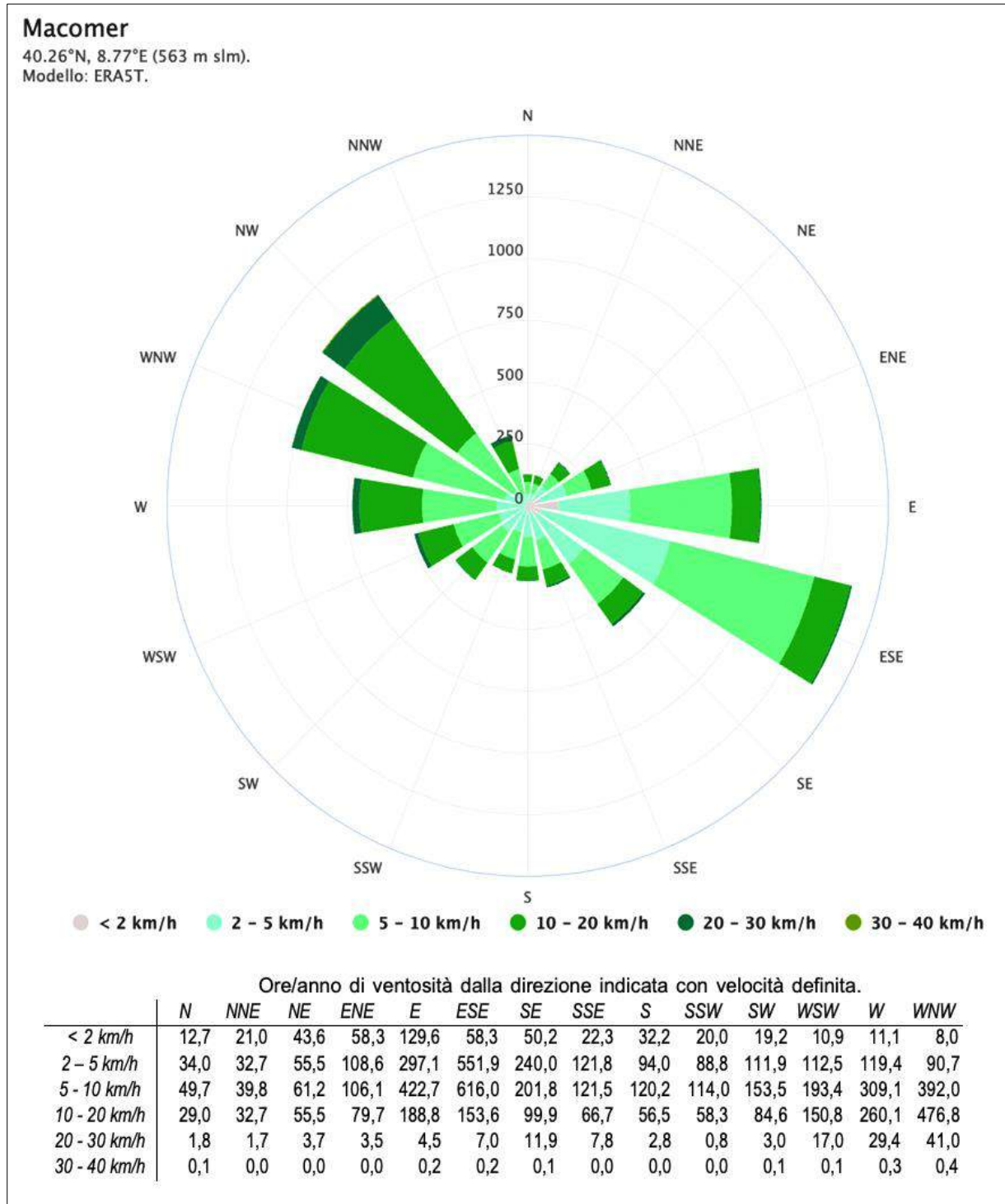


Fig.13. totale ore di ventosità annua e direzione del vento



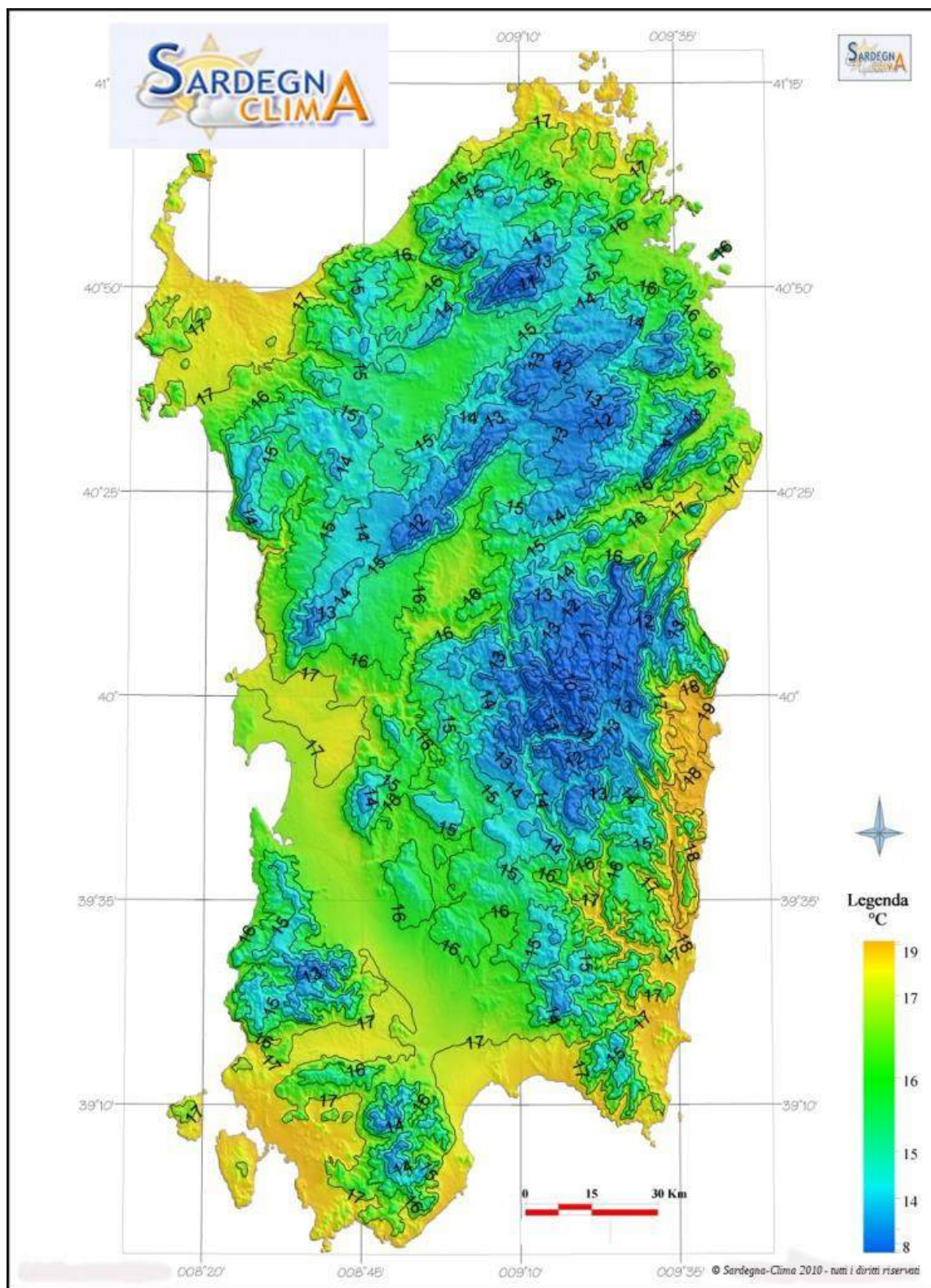


Fig. 14. *Mapa delle temperature medie della Sardegna su base climatologica 1981-2000*



A.T.P. "C.C.W.R" progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile
 Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;
 Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;
 Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.
 Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

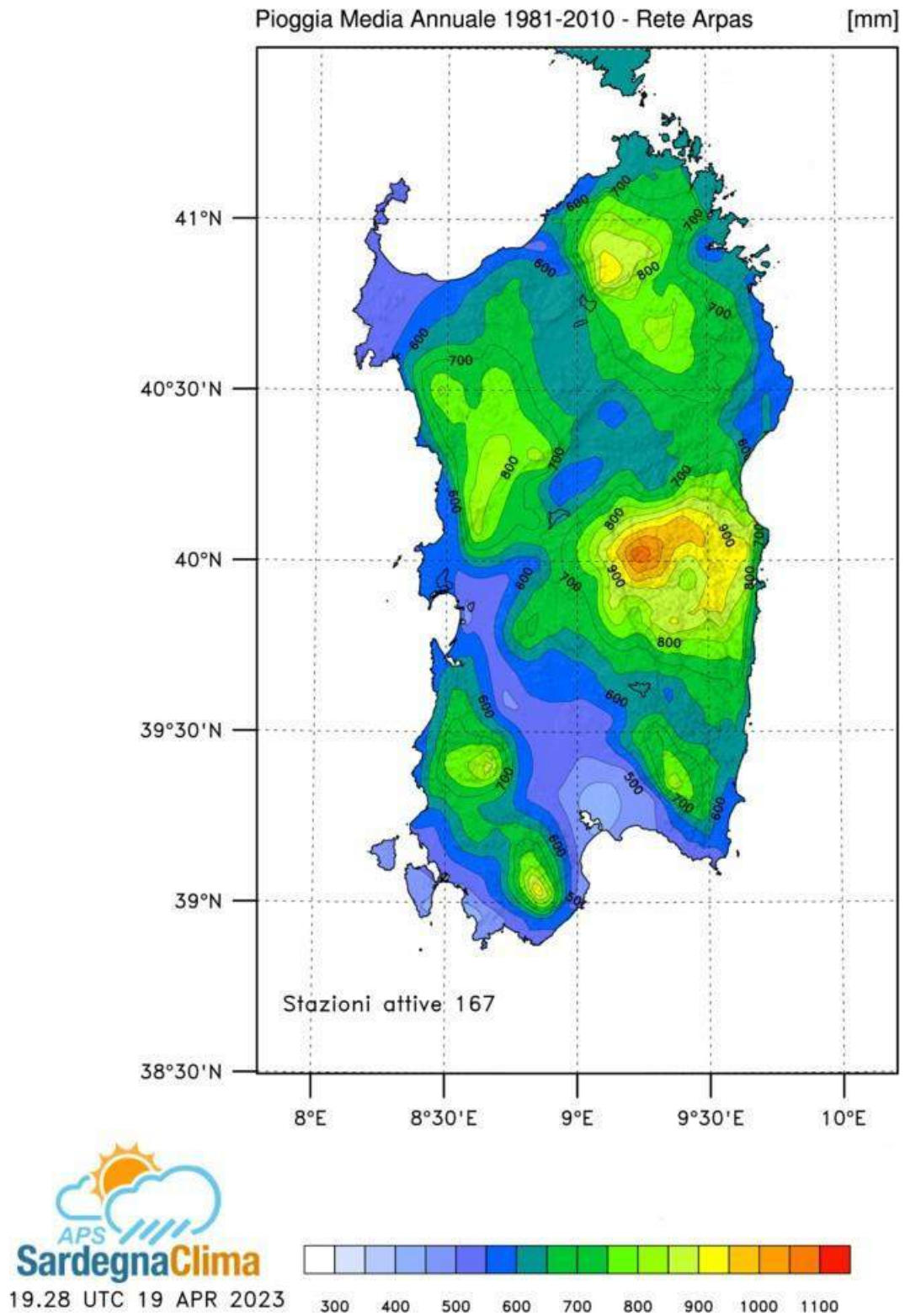


Fig. 15. Precipitazioni medie nelle aree territoriali sarde, rilevamenti dal 1981 al 2010 (fonte ARPAS)



A.T.P. "C.C.W.R" progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile
 Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;
 Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;
 Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.
 Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

3d - INQUADRAMENTO FLORISTICO VEGETAZIONALE

Il distretto, estendendosi al contatto tra il sottodistretto biogeografico trachi-basaltico e quello nurrico (distretto Nord-Occidentale), è caratterizzato da cenosi forestali a sclerofille prevalenti (dove la specie arborea principale è la sughera, e subordinatamente leccio e olivastro) e secondariamente caducifoglie con boschi di roverella e ripariali.

Sulla base della situazione geologica, caratterizzata da ampie interconnessioni esistenti tra le vulcaniti oligo-mioceniche (Monti Traessu, Frusciu, Ferulosu, Gherra), vulcaniti plio-pleistoceniche (Monti Santo e Pelao, propaggini settentrionali dell'altopiano di Campeda) e substrati sedimentari miocenici (ampiamente diffusi), con depositi di versante e terrazzi alluvionali.

È presente, a tratti, la serie sarda, *thermo-mesomediterranea del leccio* con l'associazione *Prasio majoris-Quercetum ilicis* che si sviluppa in condizioni bioclimatiche di tipo mesomediterraneo inferiore. Si tratta di micro- mesoboschi climatofili a *Quercus ilex*, con *Olea europea* var. *sylvestris*, *Pistacia lentiscus*, *Rhamnus alaternus*, *Phillyrea latifolia*, *Erica arborea* e *Arbutus unedo*. Consistente la presenza di lianose, come *Clematis cirrhosa*, *Prasium majus*, *Smilax aspera*, *Rubia peregrina*, *Lonicera implexa* e *Tamus communis*.

Abbondanti le geofite: *Arisarum vulgare*, *Cyclamen repandum*, *Asparagus acutifolius*, *Ruscus aculeatus* mentre le emicriptofite sono meno frequenti: *Carex distachya*, *Pulicaria odora*, *Asplenium onopteris*. Queste cenosi ricadono nella subassociazione tipica *quercetosum ilicis* che si rinviene su substrati effusivi in corrispondenza del piano fitoclimatico mesomediterraneo inferiore con ombrotipi dal secco superiore al subumido inferiore. Nel distretto sono diffuse anche le cenosi di sostituzione, rappresentate da comunità arbustive riferibili all'associazione *Pistacio lentisci-Calicotometum villosae* e comunità nanofanerofitiche dell'associazione *Lavandulo stoechadis-Cistetum monspeliensis*. Le cenosi erbacee di sostituzione sono rappresentate da pascoli ovini della classe *Poetea bulbosae*, da praterie emicriptofitiche della classe *Artemisietea* e da comunità terofitiche della classe *Tuberarietea guttatae*.

La serie sarda mesomediterranea del leccio *Galio scabri-Quercetum ilicis* è invece osservabile nelle aree ad altitudine superiore ai 450 m s.l.m., comparando raramente come climacica con la subass. tipica *clematidetosum cirrhosae* e più spesso come *edafoxerofila* con la subass. *polypodietosum serrulati* in corrispondenza di affioramenti rocciosi nella testa delle vulcaniti. La serie calcifuga, si sviluppa su basalti e rioliti, nelle zone alto collinari e basso-montane, nel piano fitoclimatico mesomediterraneo superiore con ombrotipo dal subumido superiore all'umido inferiore. Si tratta di mesoboschi a leccio con *Erica arborea*, *Arbutus unedo*, *Edera helix* e talora *Acer monspessulanum*. Ben rappresentate le lianose, *Smilax aspera*, *Rubia peregrina*, *Rosa sempervirens*, *Hedera helix* subsp. *helix* e talvolta *Clematis cirrhosa*.



A.T.P. "C.C.W.R." progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile

Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;

Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;

Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.

Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

Lo strato erbaceo, paucispecifico, è dominato da *Cyclamen repandum*, *Luzula forsteri*, *Asplenium onopteris*, *Carex distachya* e *Galium scabrum*. Generalmente la vegetazione potenziale a leccio è sostituita da formazioni arbustive a corbezzolo ed *Erica arborea* dell'associazione *Erico arboreae-Arbutetum unedonis*. Per ulteriori interventi antropici e perdita di suolo si sviluppano garighe a *Cistus monspeliensis* della classe *Cisto-Lavanduletea*. Seguono le praterie di sostituzione della classe *Artemisietea* e i pratelli terofitici della classe *Tuberarietea*.

In corrispondenza degli estesi altipiani effusivi e dei rilievi tabulari oligo-miocenici e plio-pleistocenici che caratterizzano l'area, sono presenti sugherete riferibili alla serie sarda, calcifuga, mesomediterranea della sughera *Viola dehnhardtii-Quercetum suberis*. Si tratta di un mesobosco dominato da *Quercus suber* con querce caducifoglie ed *Hedera helix* subsp. *helix*. Lo strato arbustivo, denso, è caratterizzato da *Pyrus spinosa*, *Crataegus monogyna*, *Arbutus unedo* ed *Erica arborea*. Negli aspetti più mesofili dell'associazione, riferibili alla subass. *oenanthesum pimpinelloidis*, che si riscontra oltre i 450 m s.l.m., nel sottobosco compare anche *Cytisus villosus*. Gli aspetti termofili subass. *Myrtetosum communis*, molto diffusa al di sotto dei 450 m s.l.m. sono differenziati da *Pistacia lentiscus*, *Myrtus communis* e *Calicotome spinosa*. Tra le lianose sono frequenti *Tamus communis*, *Rubia peregrina*, *Smilax aspera*, *Rosa sempervirens* e *Lonicera implexa*. Nello strato erbaceo sono presenti *Viola alba* subsp. *dehnhardtii*, *Carex distachya*, *Pulicaria odora*, *Allium triquetrum*, *Asplenium onopteris*, *Pteridium aquilinum*, *Brachypodium sylvaticum*, *Luzula forsteri* e *Oenanthe pimpinelloides*.

Sulle rupi interne, soprattutto sulle falesie trachitiche, si sviluppa il microgeosigmeto rupicolo, con comunità comofitiche a *Cymbalaria aequitriloba*, *Silene nodulosa* e *Arenaria balearica*.

Sugli altipiani sono presenti stagni temporanei mediterranei Monte Pelao, Traessu, Campeda, in cui la vegetazione si dispone in fasce in funzione della profondità dell'acqua e del suo periodo di permanenza. Si tratta di habitat ad elevata diversità floristica e fitocenotica, riferite alla classe *Isoeto-Nanojuncetea*, caratterizzati, fra le altre, dalle endemiche *Ranunculus cordiger* subsp. *diffusus*, *Isoetes velata* subsp. *tegulensis*, *Apium crassipes*, *Ranunculus revelieri*, *Oenanthe lisae*.

4 - IL PROGETTO

4a - FINALITA'

Lo scopo del presente progetto d'indagine e ricerca, è quello di valutare l'ipotetico impatto ambientale subito dal territorio a seguito della presenza di una linea di incenerimento rifiuti nell'area Industriale di Tossilo – Macomer al fine di ottenere dei parametri qualitativo/comparativi da poter utilizzare a seguito della messa in esercizio della nuova linea di termovalorizzazione da 30 MW. Il crescente degrado del



A.T.P. "C.C.W.R" progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile
 Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;
 Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;
 Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.
 Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

territorio impone, con sempre maggiore urgenza, la necessità di attuare un quadro sistematico di controllo dei livelli di inquinamento e della qualità dell'ambiente. In quest'ambito si collocano le attività di biomonitoraggio, cioè il rilevamento delle alterazioni ambientali effettuato mediante l'uso di organismi viventi.

Esso si basa sul presupposto che qualsiasi fattore di disturbo che modifichi le condizioni ambientali produce degli effetti sugli organismi viventi e sulle loro comunità. La valutazione di tali effetti fornisce un'informazione diretta sul processo di deterioramento della qualità ambientale in quel determinato contesto territoriale.

4b - IL BIOMONITORAGGIO AMBIENTALE

Il monitoraggio dell'inquinamento tramite parametri biologici (biomonitoraggio) si basa sulle variazioni ecologiche indotte dall'inquinamento nell'ambiente (Manning & Feder, 1980); queste si riflettono sugli organismi in tre modi principali:

1. Modificazioni morfo-strutturali.
2. Accumulo di sostanze inquinanti.
3. Variazione della composizione faunistica e/o floristica in un dato ambiente.

Nella maggior parte dei casi dette modificazioni non dipendono tanto, salvo fenomeni eccezionali di natura catastrofica, da fenomeni acuti d'inquinamento, quanto dall'inquinamento medio entro periodi più o meno lunghi, a seconda del tipo di organismi.

Considerando che una stima corretta dell'inquinamento atmosferico deve essere basata su valori medi riferiti a un arco di tempo sufficientemente ampio, la valutazione del grado di inquinamento tramite bioindicatori riflette la situazione generale in modo più fedele di quella derivante da poche misure dirette di tipo puntiforme nel tempo e nello spazio. In altre parole, gli organismi vengono utilizzati quali "centraline permanenti" naturali.

La scelta di un organismo, o di un gruppo di organismi adatti ad essere usati per il biomonitoraggio ambientale dipende da numerosi fattori, tra cui i principali sono:

1. Accertata sensibilità all'inquinamento.
2. Scarsa mobilità nell'ambito dell'area d'indagine.
3. Presenza diffusa nel territorio da esaminare.
4. Eventuale capacità di accumulo di sostanze inquinanti.

Inoltre, è da tener presente che diversi organismi sono più sensibili a certi tipi di inquinanti piuttosto che ad altri, quindi a volte la scelta dipende anche dal tipo di inquinante che si vuole rilevare.

Il monitoraggio ambientale tramite bioindicatori possiede degli evidenti vantaggi rispetto a quello di tipo



diretto effettuato tramite centraline. Nella maggior parte dei casi, però, è inadatto al monitoraggio di casi acuti d'inquinamento, dati i tempi di risposta relativamente lenti di molti organismi.

Tra i bioindicatori della qualità dell'aria i licheni occupano sicuramente un ruolo fondamentale, per tale motivo vengono proposti in questo lavoro quali fonte di monitoraggio.

4c - PRINCIPIO DI UTILIZZO DEI LICHENI

Il vantaggio di utilizzare i licheni per il monitoraggio dei diversi inquinanti deriva dalle peculiarità fisiologiche ed ecologiche proprie di questi organismi.

Tra cui evidenziamo:

1. Sono una associazione "simbiotica" tra un fungo ed una o più alghe, foto-sinteticamente attivi solo allo stato idratato.
2. **Mancano di apparato radicale e per il loro metabolismo si avvalgono delle deposizioni secche ed umide provenienti dall'atmosfera.**
3. **Mancano di una cuticola superficiale con conseguente più facile assorbimento degli elementi nutritivi e dei contaminanti gassosi e/o particolato.**
4. Impossibilità di liberarsi delle parti vecchie o danneggiate, ciò fa sì che i talli lichenici non siano in grado di liberarsi delle sostanze contaminanti.
5. I processi di assorbimento hanno luogo su tutta la superficie del tallo; da ciò la capacità di accumulare a livelli apprezzabili contaminanti clorurati, fluoruri, ecc.
6. Possiedono scarsi meccanismi di selezione nei confronti delle sostanze presenti nell'ambiente.
7. In generale ampia distribuzione e accertata fissità al substrato che ne fanno dei testimoni affidabili delle condizioni dell'area in cui vivono.
8. Lento accrescimento e grande longevità, che gli permettono di fornire informazioni inerenti a lunghi periodi.
9. Le varie specie di licheni hanno tolleranze ecologiche piuttosto ristrette e ben definite.
10. Le varie specie licheniche presentano tolleranze diverse a differenti tipi di inquinanti.
11. Hanno una fortissima sensibilità alle modificazioni di tipo microclimatico.

Tutte queste proprietà possono essere utilizzate per determinare i tassi di inquinamento da metalli pesanti, fluoruri, radionuclidi, ecc., misurandone la concentrazione nei talli lichenici campionati nell'area oggetto di studio.

Infatti la scarsità di licheni delle aree inquinate (deserti lichenici) è dovuto al danneggiamento delle cellule algali, da parte degli inquinanti, con conseguente depressione dei processi di fotosintesi clorofilliana.



A.T.P. "C.C.W.R." progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile

Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;

Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;

Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.

Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

Palesemente ne consegue che le tecniche di biomonitoraggio permettono di identificare lo stato di alcuni parametri ambientali sulla base degli effetti da essi indotti sul tallo o su indici (IBL) di presenza/assenza/copertura di questi organismi sensibili.

Questi effetti si manifestano a due livelli, che corrispondono a due categorie di tecniche.

1. Modificazioni morfologiche, fisiologiche o genetiche a livello di organismo, di popolazione o di comunità: tecniche di bioindicazione, che stimano gli effetti di variazioni ambientali su componenti sensibili degli ecosistemi. La biodiversità dei licheni ha dimostrato di essere un eccellente bioindicatore dell'inquinamento prodotto da sostanze fitotossiche.
2. Accumulo di sostanze: tecniche di bioaccumulo, che misurano le concentrazioni di sostanze in organismi in grado di assorbirle ed accumularle dall'ambiente. Le tecniche di bioaccumulo correntemente utilizzate permettono di valutare alterazioni ambientali dovute a deposizioni di inquinanti persistenti aerotrasportati. L'esperienza più vasta e di più lungo periodo è riferita al bioaccumulo di inquinanti inorganici, quali elementi in traccia, sia in licheni epifiti che in muschi epigei.

Nel passato sono stati utilizzati licheni e muschi come bioaccumulatori per lo studio delle deposizioni di radionuclidi e fluoruri. Più recentemente, tali tecniche sono state sperimentate positivamente per il bioaccumulo di inquinanti organici come ammoniaca, idrocarburi policiclici aromatici (IPA), dibenzo-p-diossine (PCDD) e i dibenzo-p-furani (PCDF).

A livello concettuale le differenze tra tecniche di bioindicazione e di bioaccumulo non sono sostanziali, anche se le prime si basano su misure biologiche, le seconde su analisi chimiche: entrambe rientrano nella definizione del termine "biomonitoraggio" proposta da Nimis (1999a): "*analisi di componenti degli ecosistemi reattivi all'inquinamento, per la stima di deviazioni da situazioni normali*".

Per concludere, possiamo affermare che il monitoraggio biologico si è dimostrato molto utile nella valutazione dell'inquinamento atmosferico da elementi in traccia (Manning & Feder, 1980): in particolare, l'uso di licheni per la valutazione dei livelli atmosferici e dei pattern di deposizione di elementi in traccia è ben consolidato (Bačkor e Loppi, 2009). I tentativi di correlare gli elementi accumulati dai licheni con le concentrazioni atmosferiche, hanno suggerito che i licheni riflettono principalmente deposizioni secche e umide (Pilegaard, 1979; Sloof, 1995; Godihno et al., 2008; Loppi & Paoli, 2015). Tuttavia, alcuni studi hanno indicato che i licheni accumulano preferenzialmente elementi contenuti nel particolato (Glenn et al., 1991; Bari et al., 2001; Costa et al., 2002). Di conseguenza, i licheni sono sempre più utilizzati come uno strumento importante nel contenzioso legale ambientale (Tretiach et al., 2011; Purvis et al., 2013; Contardo et al., 2019).



A.T.P. "C.C.W.R." progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile

Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;

Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;

Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.

Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

4d - STRATEGIE DI CAMPIONAMENTO

Le indagini di biomonitoraggio hanno diversi obiettivi e, quindi, diverse scale territoriali: sono possibili studi su ampia scala, **studi di gradiente a distanze crescenti da una presunta fonte emittente**, studi before-after. Obiettivi, scale territoriali e strategie di campionamento sono interrelati, e non ha senso specificare rigidamente un'unica strategia valida per tutti i casi.

La scala territoriale può essere di tipo locale-puntiforme, o interessare aree vaste. L'inquinamento da metalli può avvenire sotto forma di particolato più o meno pesante, e quindi con ricadute su aree più o meno ristrette rispetto alla fonte, per cui un campionamento su un'area vasta, con scarsa densità di punti di misurazione, può rivelarsi inadeguato. Nella delimitazione dell'area di studio e nella scelta della densità di campionamento vanno considerati ove possibile i tassi di dispersione di specifici metalli a partire dalla fonte di emissione.

Per un adeguato trattamento statistico dei dati, per facilitare il confronto tra studi diversi e per ridurre la soggettività dell'operatore, è consigliabile, ove possibile, un campionamento basato su criteri probabilistici, fondato sulla definizione esplicita della popolazione statistica di riferimento e degli obiettivi campionari. Si propone, ma sarà da meglio valutare a seguito dello studio della reale situazione di campo, una suddivisione del territorio in Unità Geografiche Operazionali (OGUs) identificate secondo un disegno sistematico, utilizzata a scala nazionale.

Sono da preferire griglie di campionamento già utilizzate e testate su scala nazionale e/o internazionale. Un esempio è il sistema di campionamento utilizzato per *l'inventario Nazionale Forestale (IFN)*, costituito da una rete di punti in una maglia di 3x3 km. La rete europea *EU-UN/ECE* per il rilevamento dei danni alle foreste causati dall'inquinamento atmosferico sotto gli auspici della "EU Scheme on the protection of forests against atmospheric pollution" e "CLRTAP - Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution" ha adottato un sistema di rilevamento costituito da una maglia di 15x18 km. Una rete di base di 3x3 km consente diverse densità di campionamento, sia regolari (3x3, 6x6 km, etc.), che a maggiore densità nel senso della latitudine (3x6, 3x9 km, etc.), o della longitudine (6x3, 9x3 km, etc.), a seconda delle esigenze. **Nel caso specifico, vista l'area ristretta oggetto delle analisi, si è preferito il sistema di indagine per UC** scegliendo un grigliato di circa 1x1 km (0,750x0,750 km) con andamento dinamico, più idoneo per indagini su scala territoriale ristretta, aree comunali, urbane, ecc., la cui idoneità verrà testata dopo un adeguato studio del territorio e un primo campionamento.

In questo contesto l'Unità di Campionamento (UC) è la porzione del dominio di studio (es. plot circolare) in cui i campioni lichenici vengono raccolti sia per i nativi, o esposti per i trapianti.

Per obiettivi o per situazioni territoriali particolari non vanno esclusi altri tipi di campionamento (lungo transetti per studi di gradiente, campionamento preferenziale, etc.).



In particolare, un campionamento preferenziale – spesso ingiustamente discriminato - può risultare adeguato:

1. quando l'obiettivo si limita alla descrizione della situazione in un'area molto circoscritta;
2. quando l'obiettivo richiede un'alta densità di campionamento in un'area con generale scarsità di biomonitors autoctoni (il che richiede un'accurata ed esaustiva esplorazione del territorio);
3. quando l'obiettivo è la comparazione di una serie di siti a rischio precedentemente individuati sulla base di altre informazioni (ad esempio misure derivanti da campionatori passivi o centraline);
4. quando l'obiettivo è un nuovo campionamento in un'area originariamente campionata in modo preferenziale, per evidenziare eventuali variazioni temporali.

Non esiste un metodo per stimare una densità di campionamento ottimale, valida per tutte le aree e per tutti gli obiettivi. Per stabilire la densità di campionamento vanno considerati questi fattori principali:

1. risorse disponibili (massimo numero possibile di punti-stazione);
2. caratteristiche geomorfologico-orografiche e climatiche dell'area di studio;
3. disponibilità e distribuzione spaziale di biomonitors autoctoni;
4. variabilità del dato nell'area di interesse, desumibile da evidenze pregresse o studi pilota;
5. informazioni sulle principali fonti di emissione, e sui tassi e modelli di dispersione di specifici inquinanti nell'ambiente.

La densità dei punti di misura può variare nell'ambito della stessa area, una densità maggiore può essere opportuna in aree geomorfologicamente irregolari o in parti del territorio con la maggior variazione geografica dei dati. In questi casi sarà opportuno eseguire:

1. in una prima fase un campionamento sistematico su scala più ampia;
2. l'elaborazione dei dati relativi a questo campionamento;
3. un ulteriore campionamento su scala più ridotta, nelle aree con la maggiore variazione geografica dei dati.

Gli studi di biomonitoraggio permettono densità di campionamento molto maggiori rispetto alle reti di rilevamento strumentale. In molti studi di bioindicazione con organismi sensibili a sostanze che hanno ampi patterns di diffusione atmosferica, una densità relativamente bassa può essere accettabile. **In studi di bioaccumulo, invece, vanno considerati i possibili tassi di dispersione di specifici inquinanti a partire dalle sorgenti di emissione.** I patterns di diffusione e trasporto della maggior parte degli inquinanti immessi in atmosfera da attività antropica, dipendono dalle dimensioni del particellato e dall'altezza dal suolo delle fonti, e spesso si esauriscono su aree ristrette: una scarsa densità di punti di misura può facilmente rivelarsi inadeguata.



4e - IL PIANO DI RICERCA

La scelta della tipologia del metodo di campionamento sarà determinata in base alle caratteristiche dell'area di studio, al tipo di sorgente emissiva e/o in base alla stima della massima accuratezza raggiungibile in relazione ai costi fissi (Elzinga et al., 2001).

Il gruppo di ricerca, ultimati gli studi preliminari e i necessari sopralluoghi di verifica, utilizzerà per l'esecuzione del progetto la metodica di biomonitoraggio a mezzo di determinazione del bioaccumulo su trapianti lichenici.

A seguito degli ultimi studi e sopralluoghi eseguiti su tutta l'area interessata dal biomonitoraggio, si può affermare con certezza che **non ci sono** le condizioni necessarie per avviare uno studio basato su Indici di Biodiversità/Naturalità (I.N.) (I.A.) Lichenica.

Per tale motivo, nel seguente elaborato, si conferma l'uso della metodica del **BIOACCUMULO**. Una volta ultimate le ricognizioni preliminari, volte a valutare se sia disponibile una quantità sufficiente di materiale lichenico delle specie selezionate, verificato il numero di alberi standard presenti, eseguita la **Caratterizzazione dell'Area di Background** si adotterà la metodica della determinazione del: **BIOACCUMULO DI ELEMENTI MEDIANTE TRAPIANTI LICHENICI**.

La figura 17 mostra il diagramma di flusso indicante le fasi di uno studio di biomonitoraggio mediante trapianti lichenici.

Si raccomanda di avviare la fase di "installazione degli espositori", ossia il posizionamento dei licheni nelle varie UC, solo **successivamente alla prima accensione dell'impianto e cioè nella fase di messa a regime dell'impianto, dopo aver eseguito tutte le tarature**, in quanto tutte le emissioni prodotte in quel periodo potrebbero non essere descrittive della reale attività del termovalorizzatore. L'esposizione dei talli lichenici contemporaneamente o precedentemente alla prima accensione dell'impianto potrebbe determinare una alterazione dei dati di bioaccumulo, dato che nel periodo di messa a regime del termovalorizzatore si potrebbero avere delle concentrazioni di residui emessi non rispecchianti la realtà. Si raccomanda però di eseguire un accurato monitoraggio a mezzo di centraline di rilevamento.

4f - ASSICURAZIONE E CONTROLLO DELLA QUALITÀ

La garanzia che il progetto di biomonitoraggio sia eseguito in modo ottimale e efficace può essere ottenuta con l'attivazione di procedure per il controllo della qualità dell'indagine capaci di documentare complessivamente la campagna di monitoraggio, che, come mostrato nel diagramma di flusso della fig.17, vengono eseguite durante tutto lo svolgersi del monitoraggio.

Tali procedure di Assicurazione di Qualità (AQ) e Controllo di Qualità (CQ) devono essere espone nel Piano di Assicurazione di Qualità (PAQ), da approntare preliminarmente all'inizio della prima fase delle



attività operative, ossia la *caratterizzazione delle aree di background*.

Si evidenzia che per le attività inerenti la *caratterizzazione delle aree di background* e per *l'allestimento del piano di assicurazione e controllo della qualità* non si è ricevuto incarico.

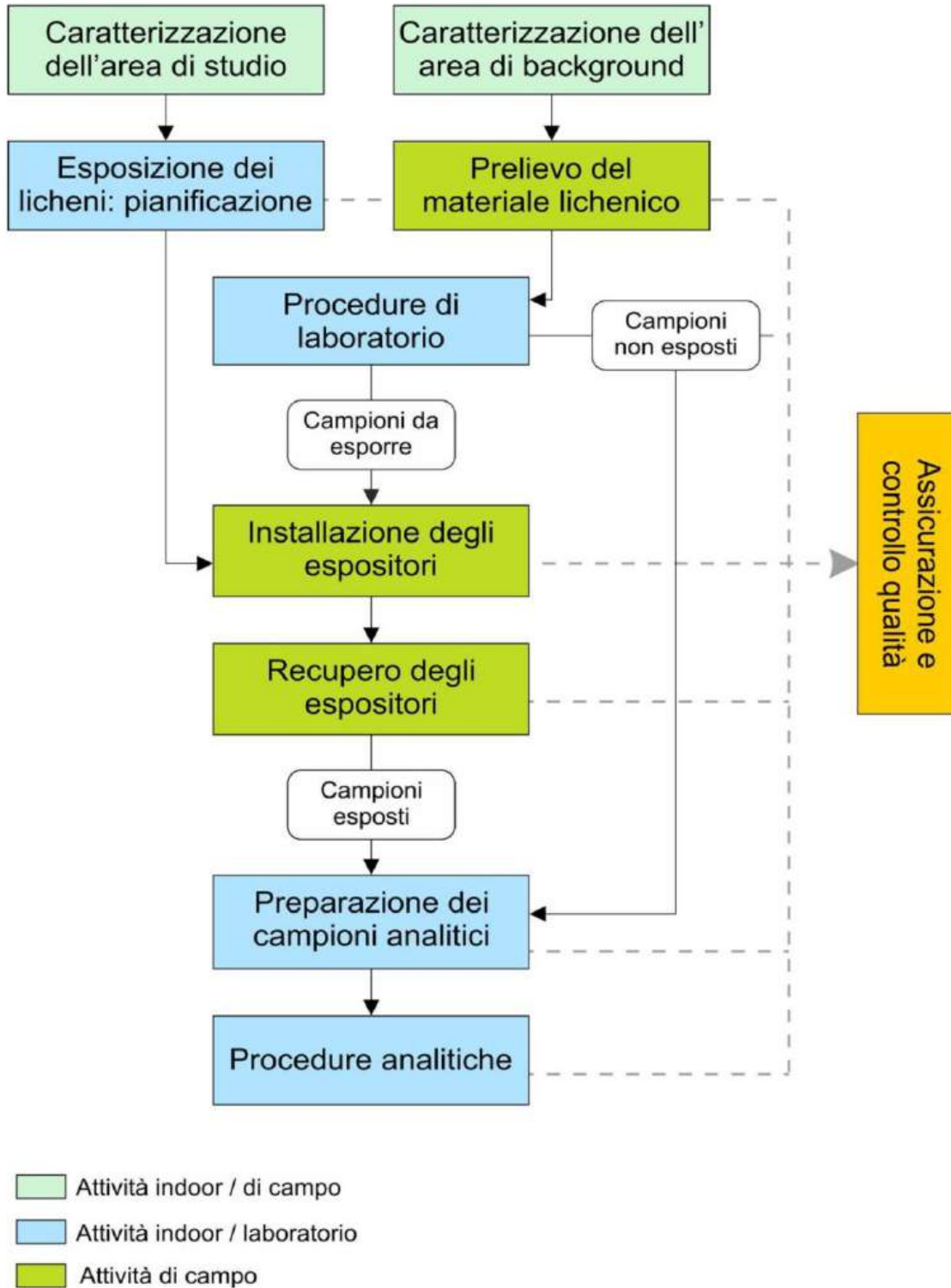


Fig.17. Diagramma di flusso delle fasi di uno studio di biomonitoraggio mediante trapianti lichenici.



A.T.P. "C.C.W.R" progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile
 Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;
 Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;
 Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.
 Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

La parte descrittiva del PAQ, che comprende la definizione di attività, parametri, obiettivi e limiti per il Controllo di Qualità dei dati e dello studio, contiene nel dettaglio i seguenti aspetti:

- identificazione dei requisiti del personale coinvolto nelle indagini;
- calibrazione fra gli operatori coinvolti;
- descrizione dei parametri, dei criteri e delle procedure. Nello specifico gli Obiettivi di Qualità dei Dati (DQO) definiscono il livello di tollerabilità di errore nell'utilizzo dei parametri adeguati allo studio; gli Obiettivi di Qualità della Misura (MQO) definiscono il livello atteso di accuratezza dei dati; gli Indicatori di Qualità dei Dati (DQI), quali le statistiche quantitative e i descrittori qualitativi sono utilizzati per interpretare il grado di accettabilità o utilità dei dati; infine i Limiti di Qualità dei Dati (DQL), definiscono il livello minimo accettabile di coerenza tra i dati di controllo e i dati dell'operatore, da utilizzare per accettare, rifiutare o validare le informazioni dello studio;
- redazione periodica di relazioni scientifico/tecniche per il breve periodo (tre/quattro mesi);
- redazione di una relazione scientifico/tecnica finale del progetto di biomonitoraggio.

Relativamente agli ultimi due punti si preferisce specificare subito alcuni dettagli.

Le relazioni periodiche per il breve periodo sulla gestione del progetto devono essere redatte alla fine di ogni fase di campionamento-analisi-elaborazione; dette relazioni dovranno essere elaborate entro le prime 2/3 settimane dell'avvio della fase successiva.

Nella relazione devono essere descritti i seguenti temi e aspetti:

- sintesi dell'oggetto e obiettivo dello studio;
- sintesi dell'organizzazione del progetto, nominativi e ruoli dei collaboratori;
- attività effettuate nel periodo d'interesse e da effettuare;
- metodiche utilizzate;
- eventuali problematiche sorte, lacune da colmare, necessità da supplire, soluzioni ipotizzate e/o applicate;
- dati ottenuti, elaborazione, analisi dei risultati, conclusioni scientifiche;
- correlazione coi dati/risultati/conclusioni delle precedenti relazioni e analisi con elaborazione di nuove conclusioni sull'intero periodo.

La relazione finale verrà elaborata a conclusione dell'intero periodo di realizzazione dello studio, prendendo in considerazione tutti i dati raccolti e i risultati derivanti dalla loro elaborazione, portando a delle conclusioni finali del biomonitoraggio.



4g- CARATTERIZZAZIONE DELL'AREA DI STUDIO

La caratterizzazione dell'area interessata dalle attività di biomonitoraggio è stata eseguita in questo elaborato progettuale, come esposto nelle pagine precedenti. Prima della fase esecutiva pratica, cioè la raccolta ed esposizione dei campioni di talli da utilizzare per la determinazione del bioaccumulo, si deve eseguire lo studio di caratterizzazione dell'area di background, ossia dell'area da cui andranno prelevati i licheni da utilizzare come bioindicatori. Ne consegue quindi che la prima fase da attuare per eseguire lo studio consisterà nella caratterizzazione dell'area di *background* e l'allestimento del piano di qualità, in assenza dei quali non potranno essere avviate le attività di monitoraggio.

4h- AGGIORNAMENTO COSTANTE DELLE INFORMAZIONI CLIMATICHE

Si raccomanda la raccolta delle informazioni riguardanti i principali parametri meteorologici (temperatura, umidità relativa, punto di rugiada, pressione atmosferica, radiazione solare, quantità di pioggia, velocità e direzione del vento) dell'area sottoposta allo studio durante la realizzazione della campagna di monitoraggio, rilevate da apposite centraline ubicate in prossimità dell'area, importanti per l'interpretazione dei dati riguardanti i patterns di bioaccumulo.

4i- CARATTERIZZAZIONE DELL'AREA DI BACKGROUND

L'area di background deve essere la più omogenea possibile sotto il profilo ecologico e ambientale. La caratterizzazione dell'area dovrà essere realizzata tramite una serie di ricognizioni preliminari in campo, con l'identificazione e delimitazione in termini materiali dell'estensione geografica delle aree, controllo e verifica sulla presenza di sorgenti puntiformi e/o diffuse di inquinamento. A questa fase dovrà seguire l'allestimento di mappe tematiche di: uso del suolo, antropizzazione, vegetazione, copertura arborea, condizioni meteo-climatiche, altitudine (modelli digitali di elevazione), litologia, morfologia e pedologia. Tutte le mappe tematiche e i layer GIS saranno ottenuti da rilevamenti eseguiti personalmente dal gruppo di lavoro e/o integrati da rilievi ufficiali RAS il più possibile aggiornati, specificandone, comunque, la fonte di provenienza. Una volta identificati e delimitati geograficamente i punti di raccolta dei campioni del materiale lichenico, verranno eseguiti circa 30 prelievi per singola area, questo materiale verrà sottoposto ad analisi per la determinazione del contenuto degli elementi target nella popolazione lichenica di riferimento, effettuando in tal modo lo studio pilota volgarmente chiamato "bianco". Questo studio, non potendo fruire di altre aree di paragone già classificate, ha lo scopo di valutare la variabilità del contenuto elementare nella popolazione lichenica di riferimento. Tale variabilità è stimata in termini dei "limiti di confidenza" dello stimatore d'interesse, cioè i valori di concentrazione elementare medi nei campioni non esposti. L'attendibilità del metodo è fortemente legata alla dimensione campionaria, per



A.T.P. "C.C.W.R." progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile

Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;

Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;

Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.

Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

tale motivo si è previsto il prelievo di almeno 30 campioni per singola area che dovranno essere raccolti e analizzati a questo scopo. Inoltre, andrà valutata la presenza di specie licheniche particolarmente sensibili all'inquinamento atmosferico per fornire ulteriori evidenze dell'assenza di fenomeni importanti di contaminazione.

4j - SPECIE LICHENICHE IDONEE PER L'ESPOSIZIONE

Benché ai fini delle attività di biomonitoraggio possono essere utilizzati sia licheni epifiti fogliosi che fruticosi, si raccomanda l'utilizzo di licheni fruticosi poiché tale forma di crescita assicura una quantità maggiore di materiale per tallo lichenico rispetto alle specie fogliose. Inoltre, i licheni fruticosi sono più semplici da pulire, selezionare e installare sugli espositori, perciò il loro utilizzo in genere riduce i tempi di processamento e incrementa l'omogeneità dei campioni e l'accuratezza dei dati (Wolterbeek & Bode, 1995). Poiché le varie specie licheniche possono differire per contenuto elementare di background e per capacità di accumulo nella composizione di base degli elementi inglobati, nell'ambito di ciascuno studio si dovrà utilizzare una sola specie di lichene.

4k - PROCEDURE PER LA RACCOLTA DEI CAMPIONI LICHENICI DA SOTTOPORRE A ESPOSIZIONE

I talli lichenici devono essere prelevati sulla corteccia di tronchi o rami di alberi in buona salute o su substrati non marcescenti. Gli alberi individuati per i prelievi devono avere un portamento eretto o con inclinazione sub-verticale. Per incrementare l'omogeneità del campione e per evitare una contaminazione terrigena, i talli devono essere raccolti sugli alberi al di sopra di 100 cm dal suolo e, quando possibile, selezionando una singola specie arborea substrato. Deve essere evitata la raccolta di talli su nodi, parti di tronco danneggiate o decorticate, così come su parti parassitate da funghi o insetti. Non è inoltre consentito raccogliere contemporaneamente i talli da rami e tronchi, poiché posizioni diverse sull'albero possono influenzarne la composizione elementare (Adamo et al., 2008).

I talli devono essere prelevati usando diversi strumenti e precauzioni in base alla forma di crescita della specie target.

4l - DISEGNO DI CAMPIONAMENTO

Nel metodo dei trapianti lichenici, i campioni vengono esposti nell'area di studio per un periodo di tempo definito seguendo un disegno di campionamento probabilistico definito a priori.

Al fine di ottenere un campionamento rappresentativo, le UC devono essere posizionate in base ad un piano d'indagine appropriato atto a minimizzare i tempi e i costi senza però perdere informazioni statistiche rilevanti. Per l'esposizione dei campioni lichenici nel dominio di studio è consentita qualsiasi



strategia di campionamento probabilistico. Tra gli approcci più utilizzati e da noi sottoposti ad analisi, citiamo:

- il campionamento sistematico;
- sistematico lungo transetti lineari;
- casuale semplice;
- casuale stratificato;
- a grappoli.

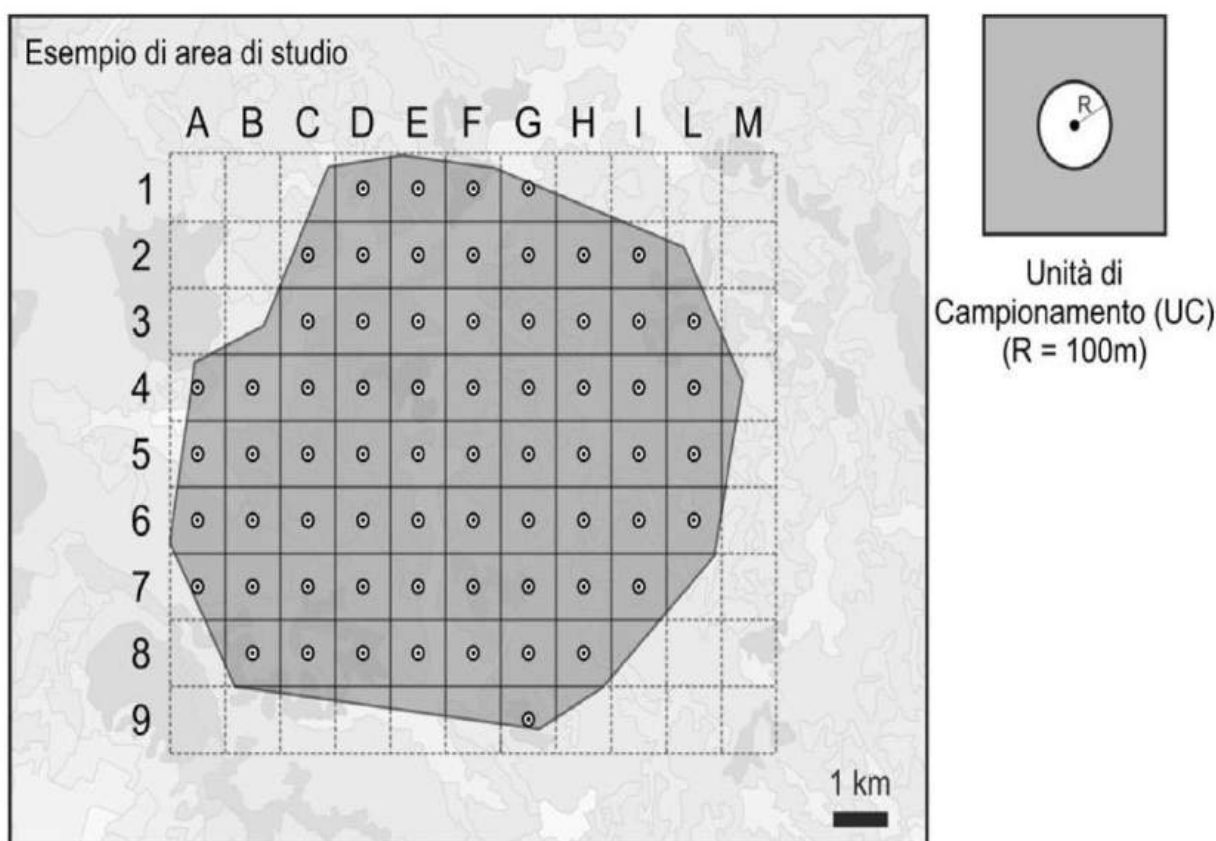


Fig.18. Un esempio di area di studio in cui la UC è disposta al centro dei quadrati definiti da una griglia. Ogni quadrato ha lato da 1 km e la UC ha forma circolare con raggio di 100 m.

La disposizione dei punti di campionamento è stata progettata con le modalità sopra descritte per consentire varie scelte sulla tipologia del metodo di campionamento, che sarà determinato una volta ultimato lo studio sulle caratteristiche dell'area, in base al tipo di sorgente emissiva (che sappiamo puntiforme) e/o in base alla stima della massima accuratezza raggiungibile in relazione ai costi fissi (Elzinga et al., 2001).

L'accurata analisi dei fattori climatici e microclimatici, con particolare riferimento ai venti dominanti e



all'orografia (fig.19) ha fatto ipotizzare la formazione di masse d'aria calda sull'altipiano di Tossilo che potrebbero risalire lungo i margini montuosi circostanti posti a N – NNE - SSW - W della piana, favorendo la diffusione degli inquinanti.

A tal fine, per poter rilevare ogni ipotetica variabile, la griglia di monitoraggio è stata dilatata ben oltre le aree di ricaduta degli inquinanti ottenute attraverso i modelli elaborati dal CINIGEO.

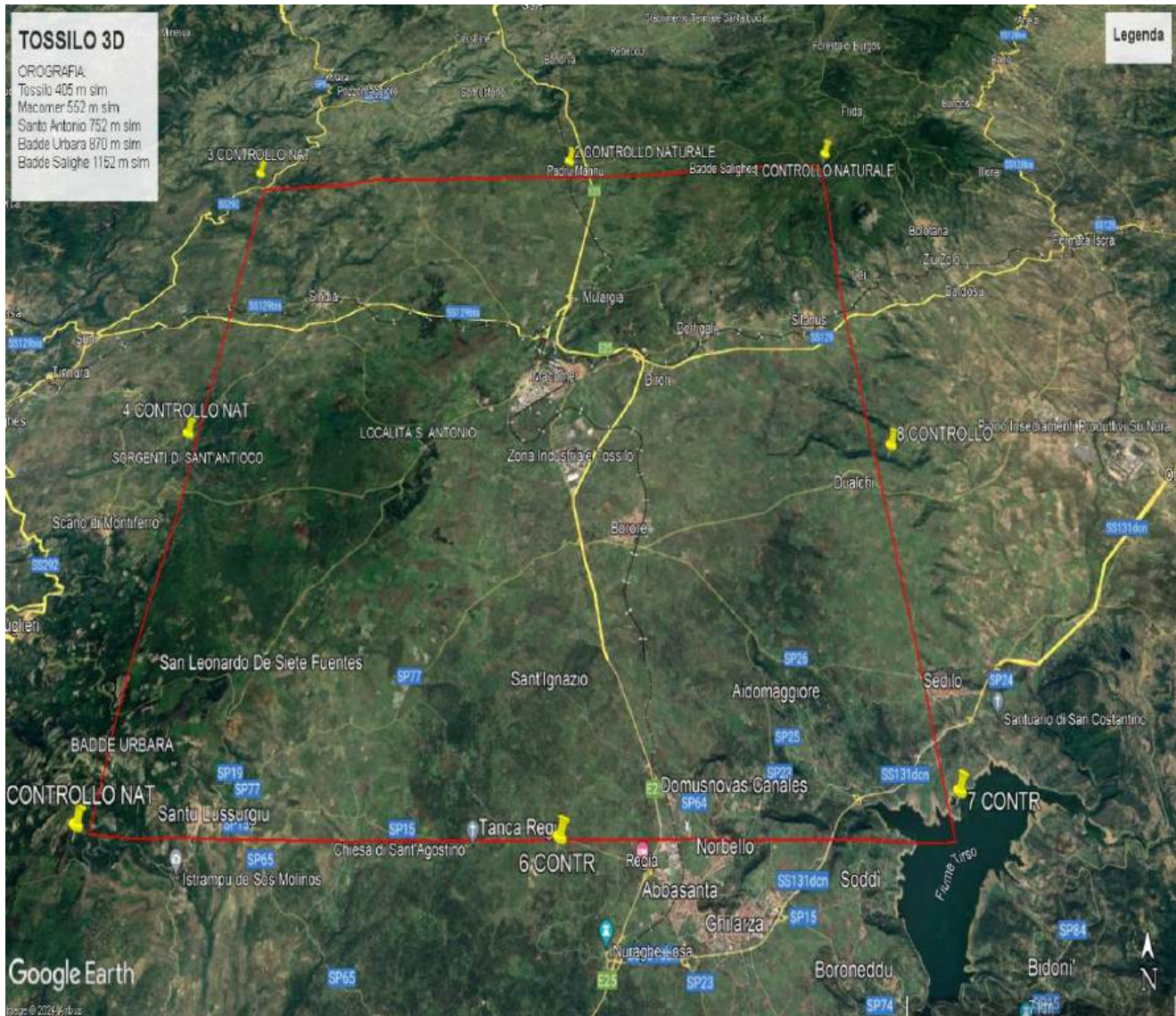


Fig.19. Ortofoto 3D indicante l'orografia del territorio

I siti espositivi (cioè le Unità di Campionamento, UC) del presente progetto hanno forma circolare con raggio di 250 m, il cui centro è identificato da una coppia di coordinate geografiche (fig.20).



A.T.P. "C.C.W.R" progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile
 Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;
 Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;
 Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.
 Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)



Fig.20. Disposizione delle UC in prossimità del punto di emissione, identificato dalla stella gialla. Ogni UC ha il raggio di 250 m.

Le UC sono state definite con due metodiche differenti per due porzioni dell'area di studio.

La prima metodica è stata utilizzata per la zona, che chiameremo “nuvola”, definita dalla massima espansione degli inquinanti come risultante dalla sovrapposizione (fig.21) delle 10 tavole allegate allo studio di simulazione della dispersione inquinanti realizzato da CINIGeo (Consorzio Interuniversitario Nazionale per l’Ingegneria delle Georisorse tra le Università di Bologna, Cagliari, Roma “La Sapienza”, Trieste), eseguito dal prof. ing. Giorgio Massacci (ordinario di Sicurezza del Lavoro e Difesa Ambientale e di Valutazioni d’Impatto e Recupero Ambientale presso l’Università di Cagliari) in qualità di responsabile dello studio e dall’ing. Cristina Levanti (CINIGeo) per conto di TOSSILO TECNOSERVICE s.p.a., dal titolo “IMPIANTO DI TERMOUTILIZZAZIONE - DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI IN ATMOSFERA” e datato Giugno 2019.



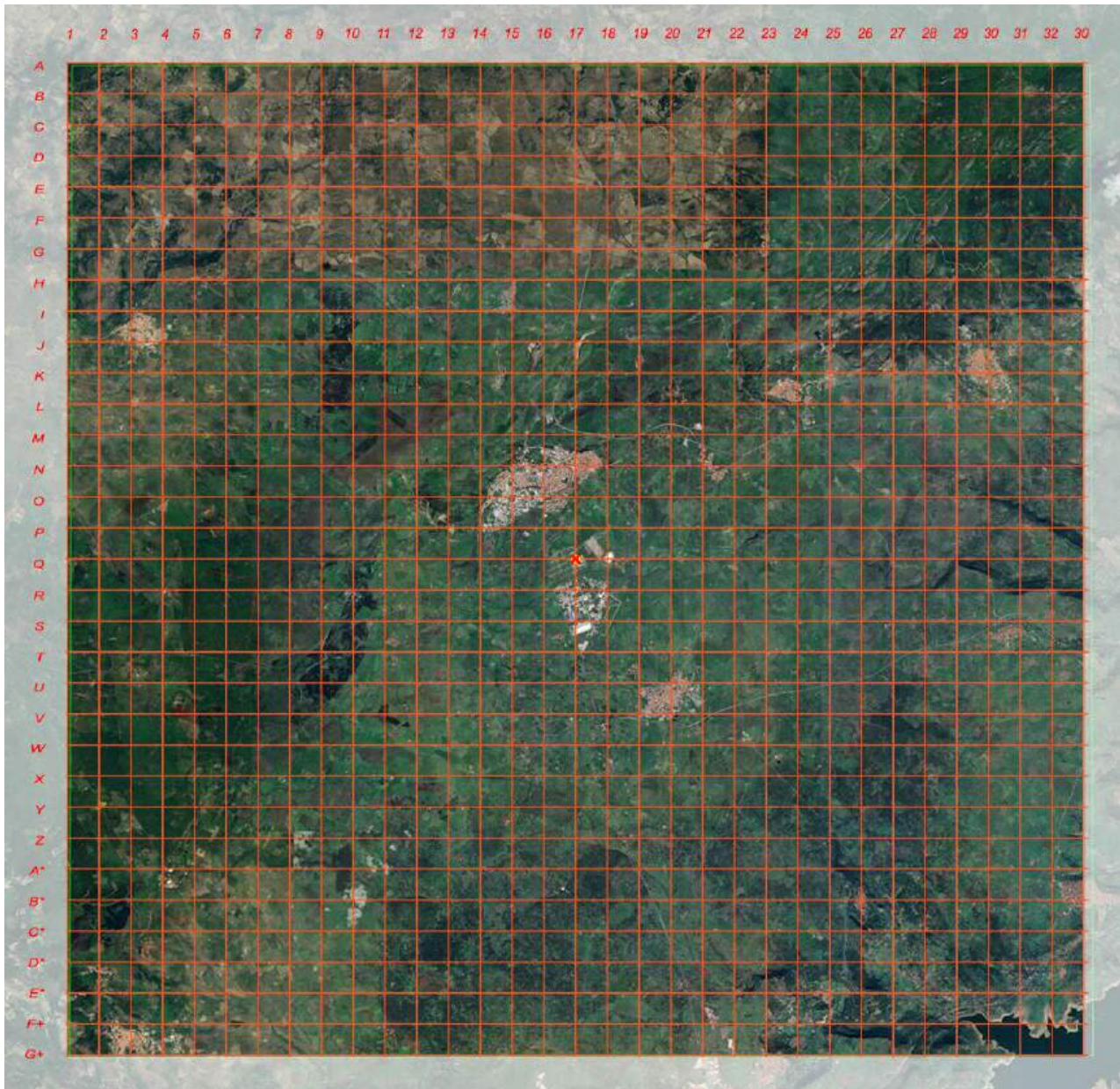


Fig.22. Sovrapposizione, all'area di interesse, di una griglia con linee perpendicolari distanti 0,750 km, centrati sul punto di emissione corrispondente al camino, da utilizzarsi per la disposizione, nei punti di incrocio, dei punti centrali delle UC interne alla "nuvola".

Relativamente alla seconda metodica, il centro di ogni UC corrisponde a un punto d'intersezione tra dei transetti a raggiera che si dipartono dal punto di emissione e degli anelli concentrici allo stesso punto di emissione distanti tra loro 2 km, con l'anello più esterno coincidente col perimetro dell'area di 24 km di lato (fig.23). Tale elaborazione permette di allestire e utilizzare una metodica di *campionamento sistematico* lungo transetti lineari. La metodica consentirebbe di ridurre numericamente la sistemazione di supporti artificiali in caso di assenza di quelli naturali, per posizionare i biomonitors esterni all'area del modello di diffusione degli inquinanti.



A.T.P "C.C.W.R" progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile
 Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;
 Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;
 Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.
 Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

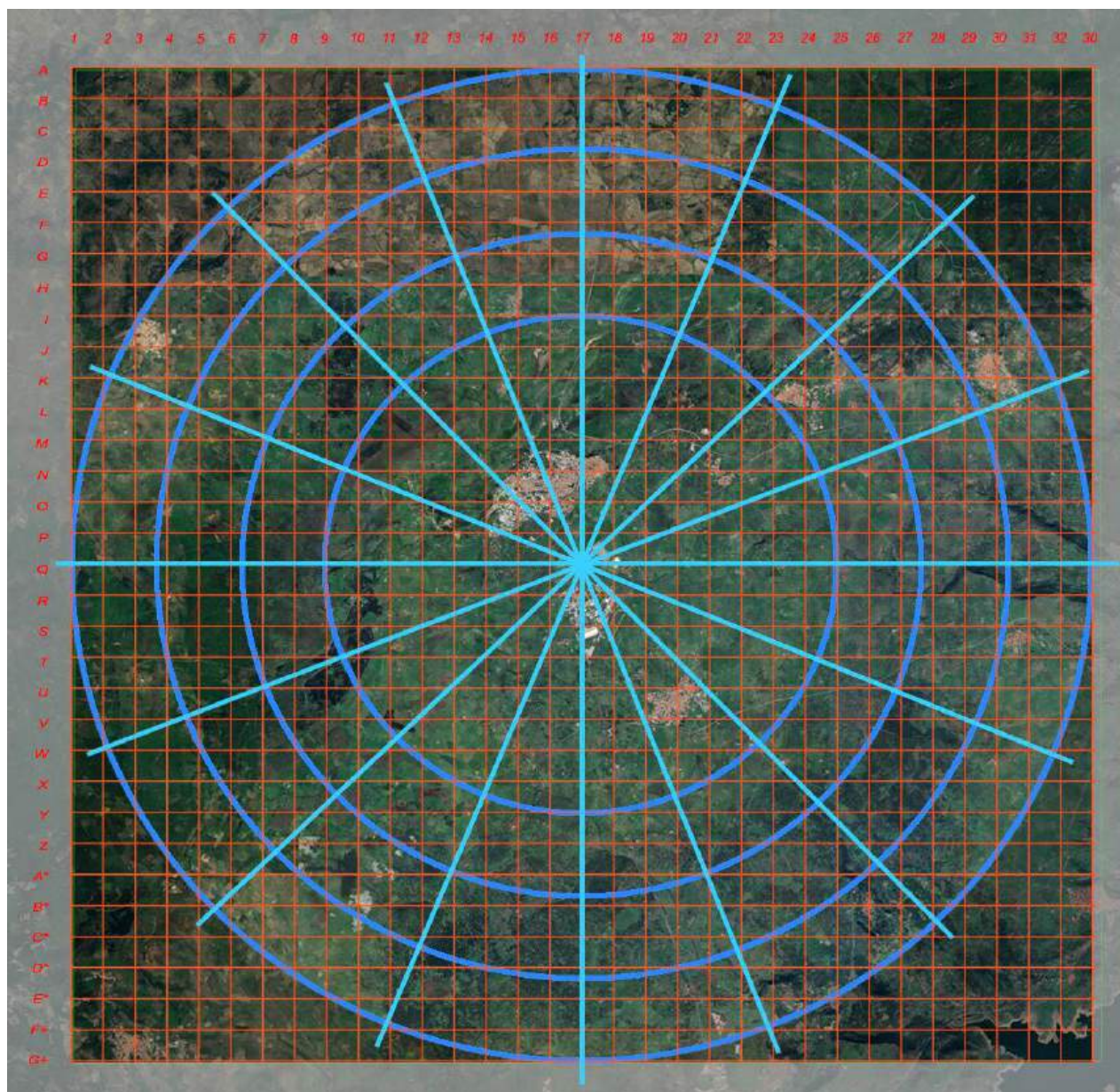


Fig.23. Sovrapposizione, alla immagine di fig.22, di quattro anelli concentrici centrati sul punto di emissione corrispondente al camino, distanti tra loro 2 km e con l'anello più esterno coincidente col perimetro dell'area da 24 km di lato, da utilizzarsi per la disposizione lungo i transetti radiali azzurri dei punti lichenici esterni alla "nuvola".

Inserendo la "nuvola" sotto la griglia e i transetti su cerchi concentrici (fig.24) è quindi possibile stabilire quali siano i punti centrali delle varie UC e quindi posizionare le stesse.



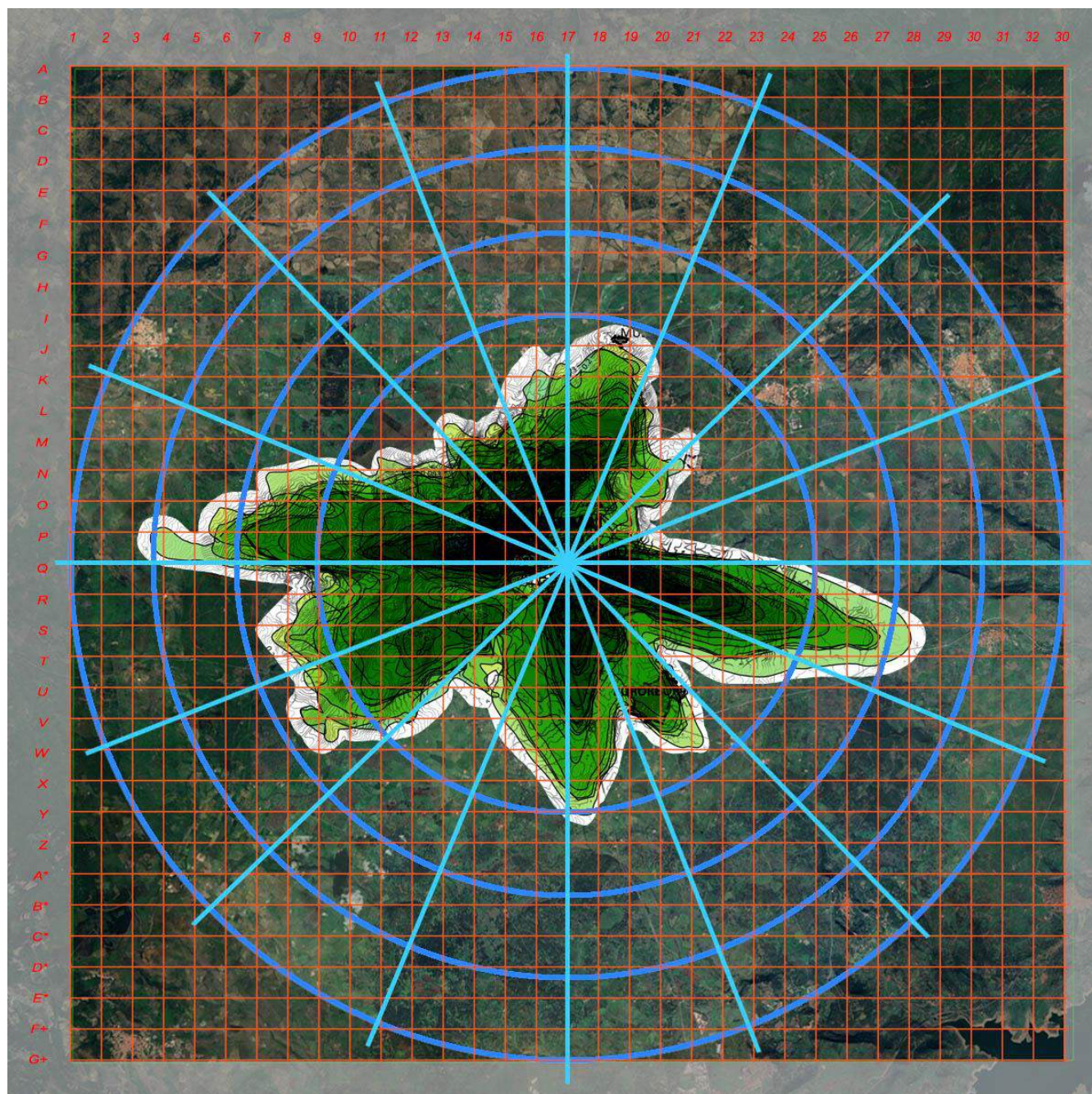


Fig.24. Inserimento, nella immagine di fig.23, della “nuvola” definita dalla sovrapposizione delle dieci aree di simulazione diffusione inquinanti.

Con la sostituzione della foto satellitare con la mappa su base CTR-RAS si ottiene un elaborato cartografico di partenza (fig.25).



A.T.P. “C.C.W.R.” progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile
 Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;
 Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all’ambiente ed al territorio;
 Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.
 Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

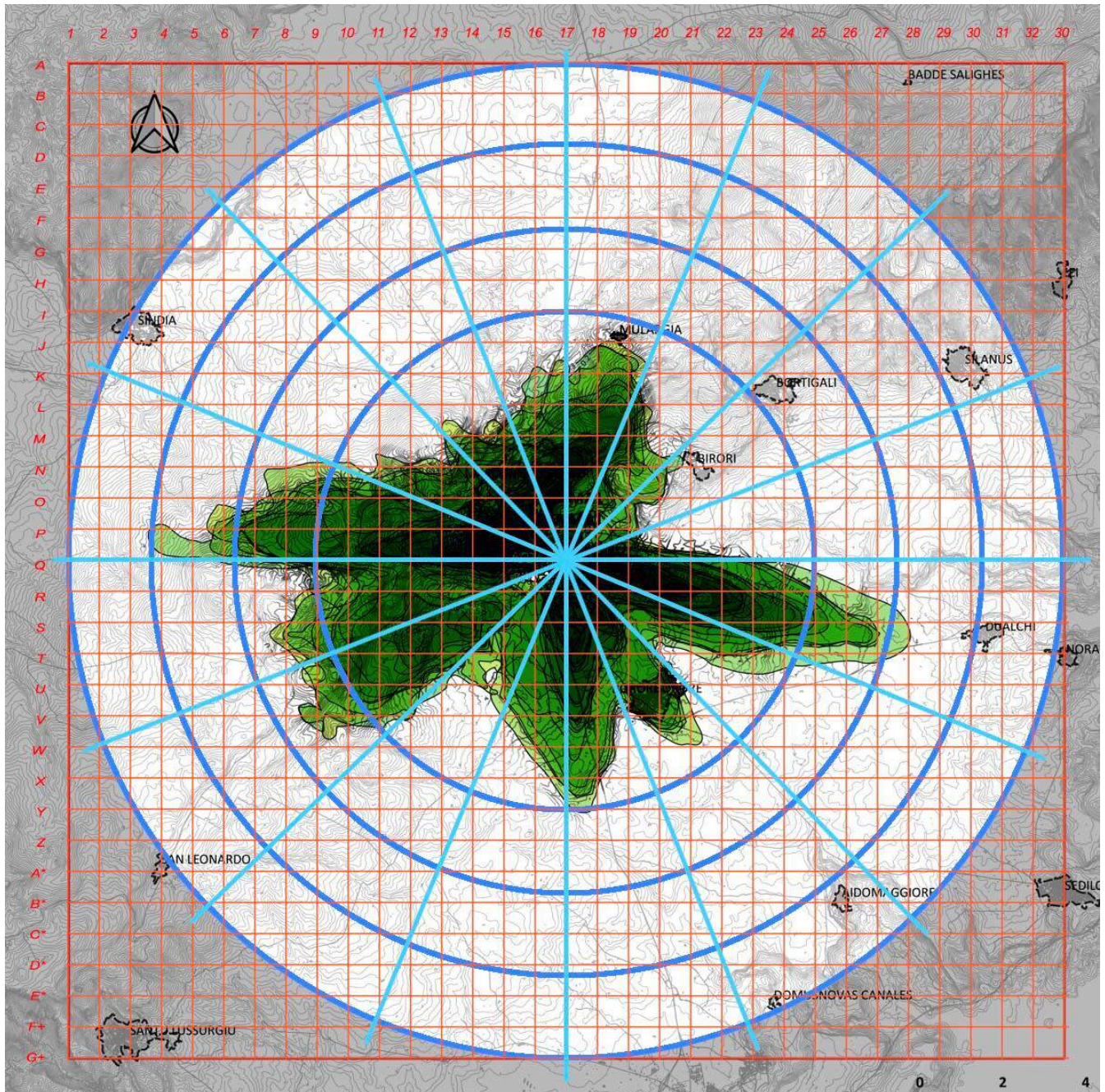


Fig.25. Sostituzione, nella immagine di fig.23, della foto satellitare con una mappa su base CTR-RAS.

Sulla struttura complessa appena descritta sono state posizionate 170 UC.

Per l'area interna sono stati considerati i punti di ogni allineamento verticale e orizzontale in una posizione sfalsata rispetto a quelli degli allineamenti limitrofi, cosicché il punto di emissione e ogni UC risulti distante 1,5 km dalle UC prossimali disposte sulle stesse linee, ma distanti solo 1,0 km circa dalle UC che la circondano disposte sulle diagonali della griglia (fig.26).



A.T.P. "C.C.W.R." progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile
 Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;
 Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;
 Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.
 Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

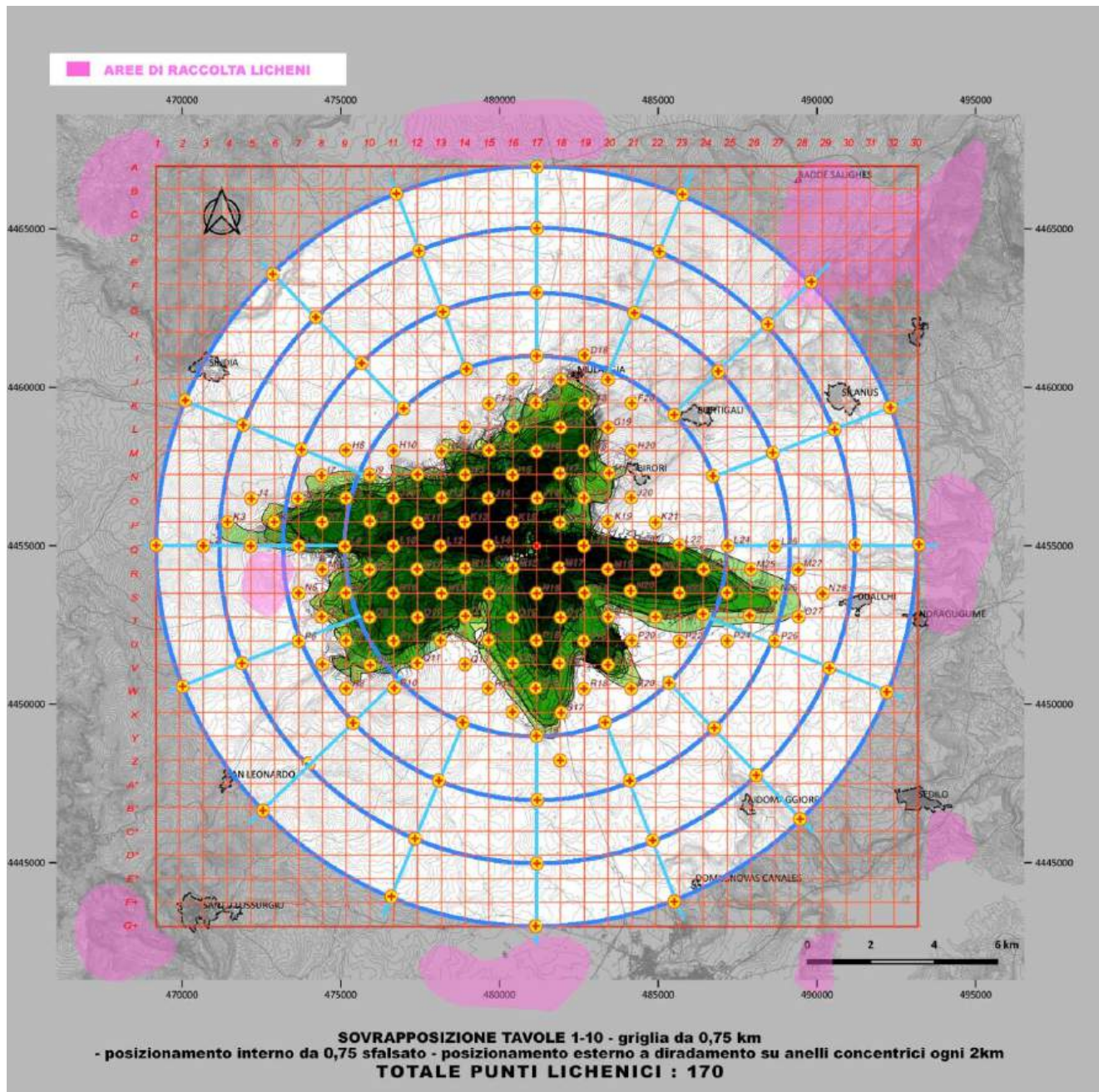


Fig.26. Disposizione di 170 punti centrali delle UC, utilizzando i transetti radiali con distanza di 2 km per i punti esterni e i punti della griglia con distanza sfalsata da 1,5 km tra punti limitrofi sulle linee, corrispondenti a circa 1 km di distanza tra punti limitrofi lungo le diagonali della griglia.

Per la scelta della disposizione delle UC esterne sono state considerate quasi tutte le intersezioni tra raggi e anelli, tranne quando vi fosse una UC interna molto ravvicinata.

Le distanze scelte e la quantità di UC sono ritenute ottimali per la raccolta di dati significativi. Per una semplice comparazione citiamo che in uno studio per il monitoraggio ambientale della zona intorno al termovalorizzatore di San Vittore del Lazio (Frosinone) svolto nel periodo 2011/13 da ARPA Lazio



A.T.P. "C.C.W.R." progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile
 Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;
 Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;
 Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.
 Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

(AA.VV., 2014) i punti di posizionamento delle trappole licheniche erano sei con distanze superiori a 1,5 km. In fig.27 è riportata la mappa di fig.26 in cui è stato inserito, in basso, un riquadro bianco con dei punti gialli, che corrispondono alla disposizione dei punti di monitoraggio predisposti nel citato studio laziale. I punti sono riportati con la stessa scala, in modo da poter osservare che la distanza è notevolmente superiore a quella tra le UC del presente progetto, soprattutto nella zona interna.

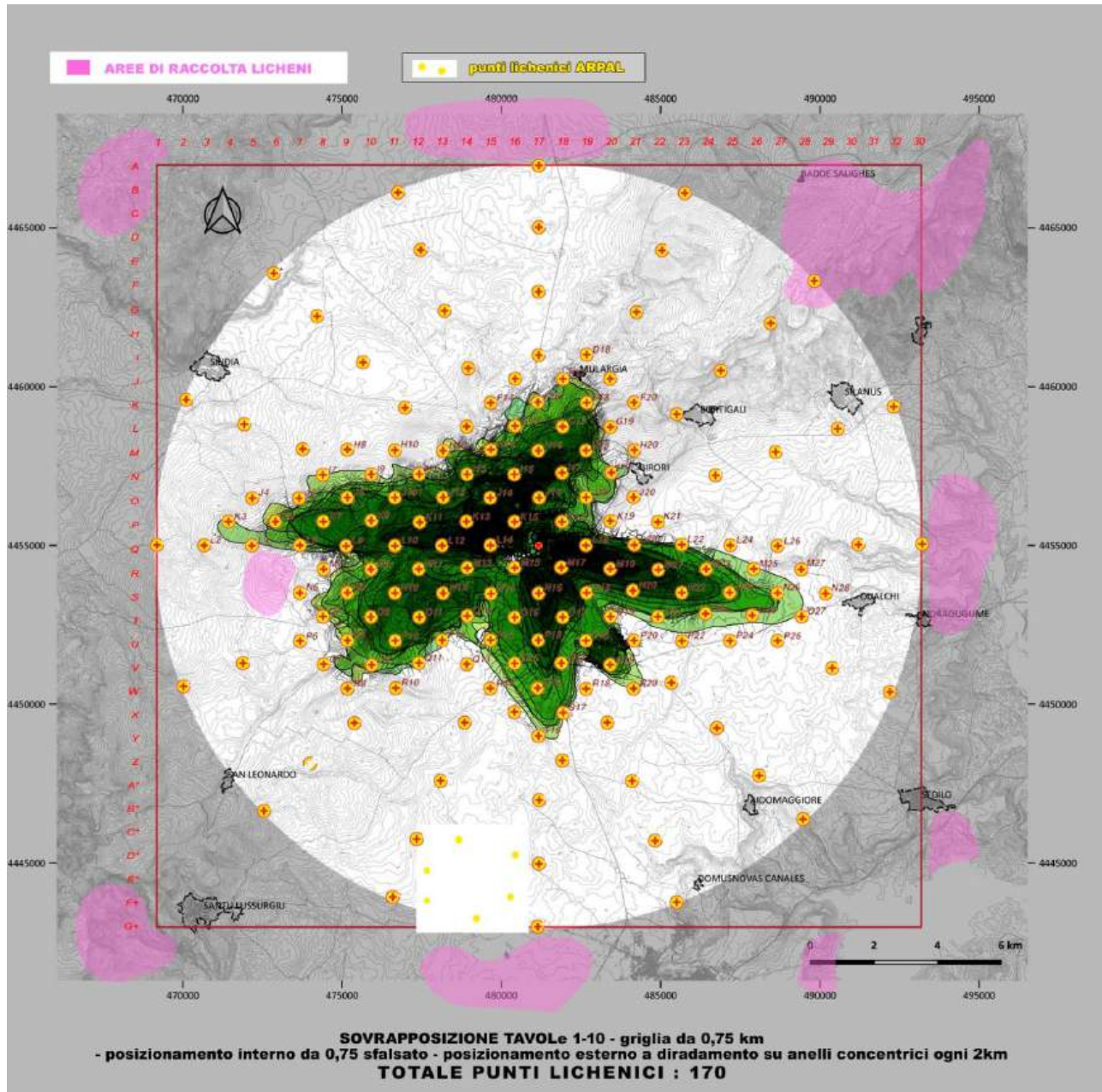


Fig.27. Inserimento, nella immagine di fig.26, della disposizione dei sei punti lichenici utilizzati da ARPA-Lazio in un progetto con identiche finalità, per mostrare una comparazione tra le distanze e il numero delle UC utilizzate in questo progetto.

Nelle figure seguenti la base CTR è stata sostituita con la cartografia DBGT-RAS .



A.T.P "C.C.W.R" progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile
 Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;
 Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;
 Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.
 Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

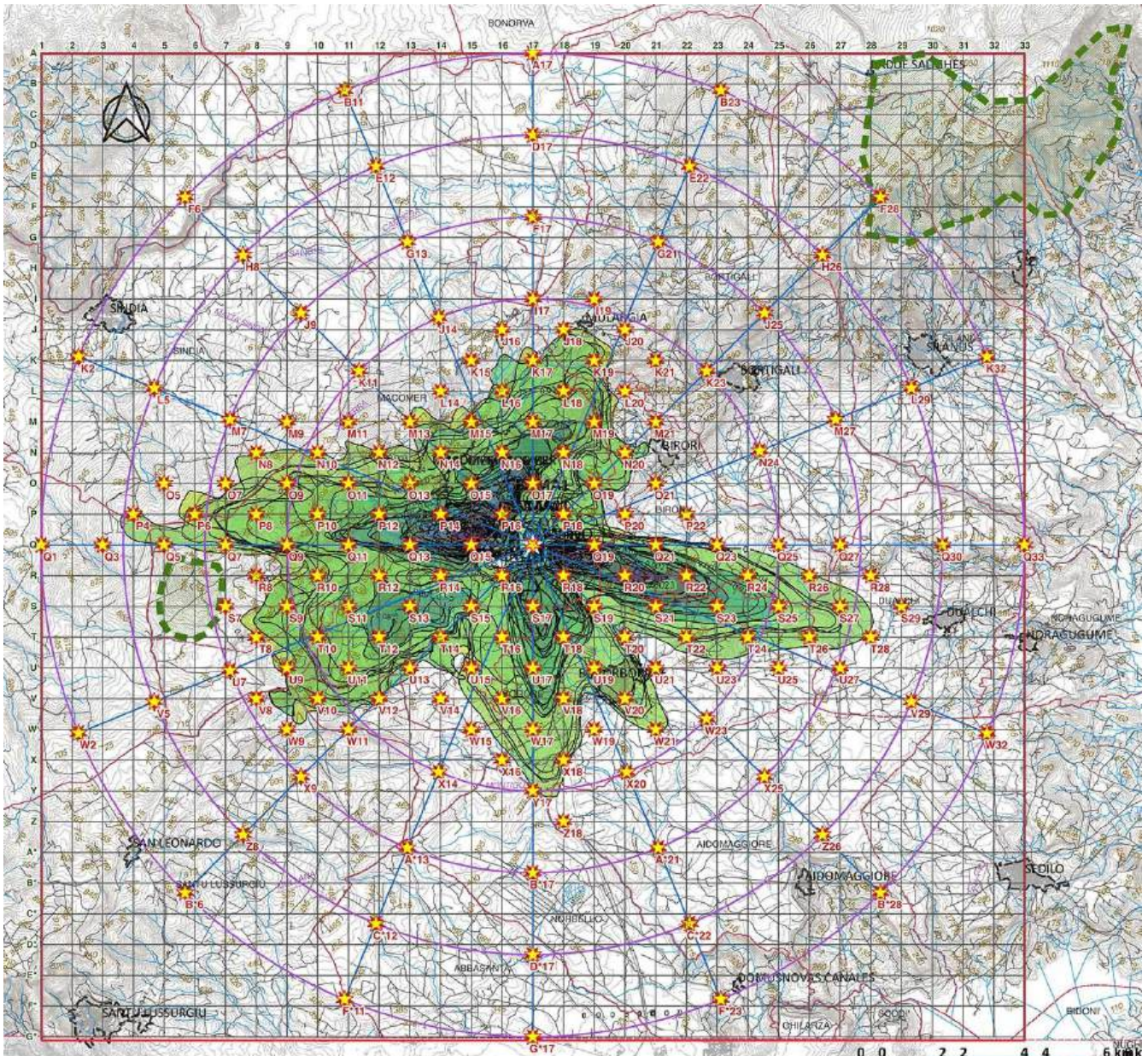


Fig.28. Mappa su base DBGT-RAS con posizione dei centri delle UC e con le aree di simulazione diffusione inquinanti.



A.T.P. "C.C.W.R" progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile
 Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;
 Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;
 Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.
 Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

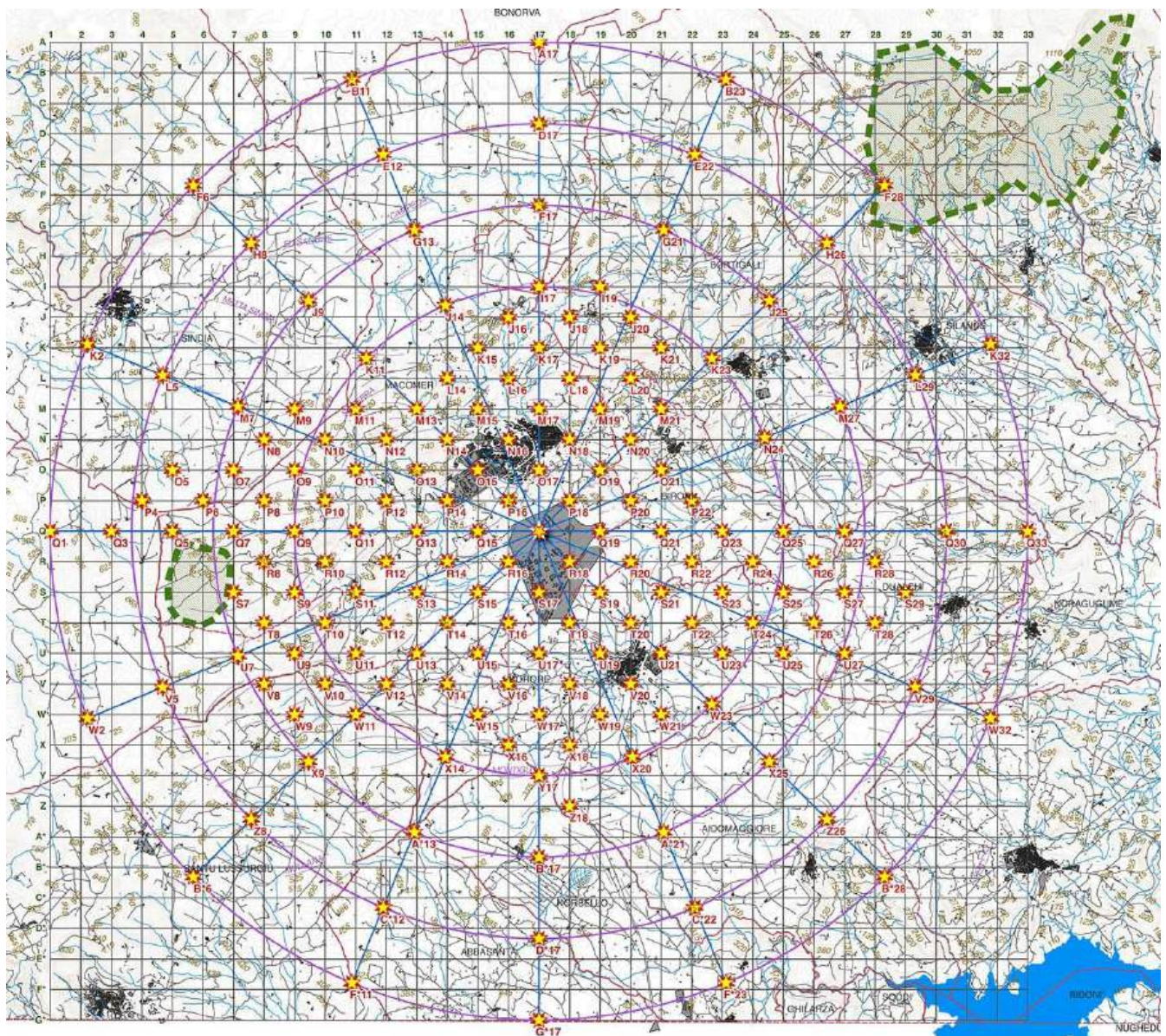


Fig.29. Mappa su base DBGT-RAS con posizione dei centri delle UC e senza le aree di simulazione diffusione inquinanti.

Di seguito vengono rappresentate le elaborazioni cartografiche sulla distribuzione geografica delle UC in relazione ai singoli modelli di ricaduta dei vari inquinanti:



A.T.P. "C.C.W.R" progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile
 Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;
 Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;
 Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.
 Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

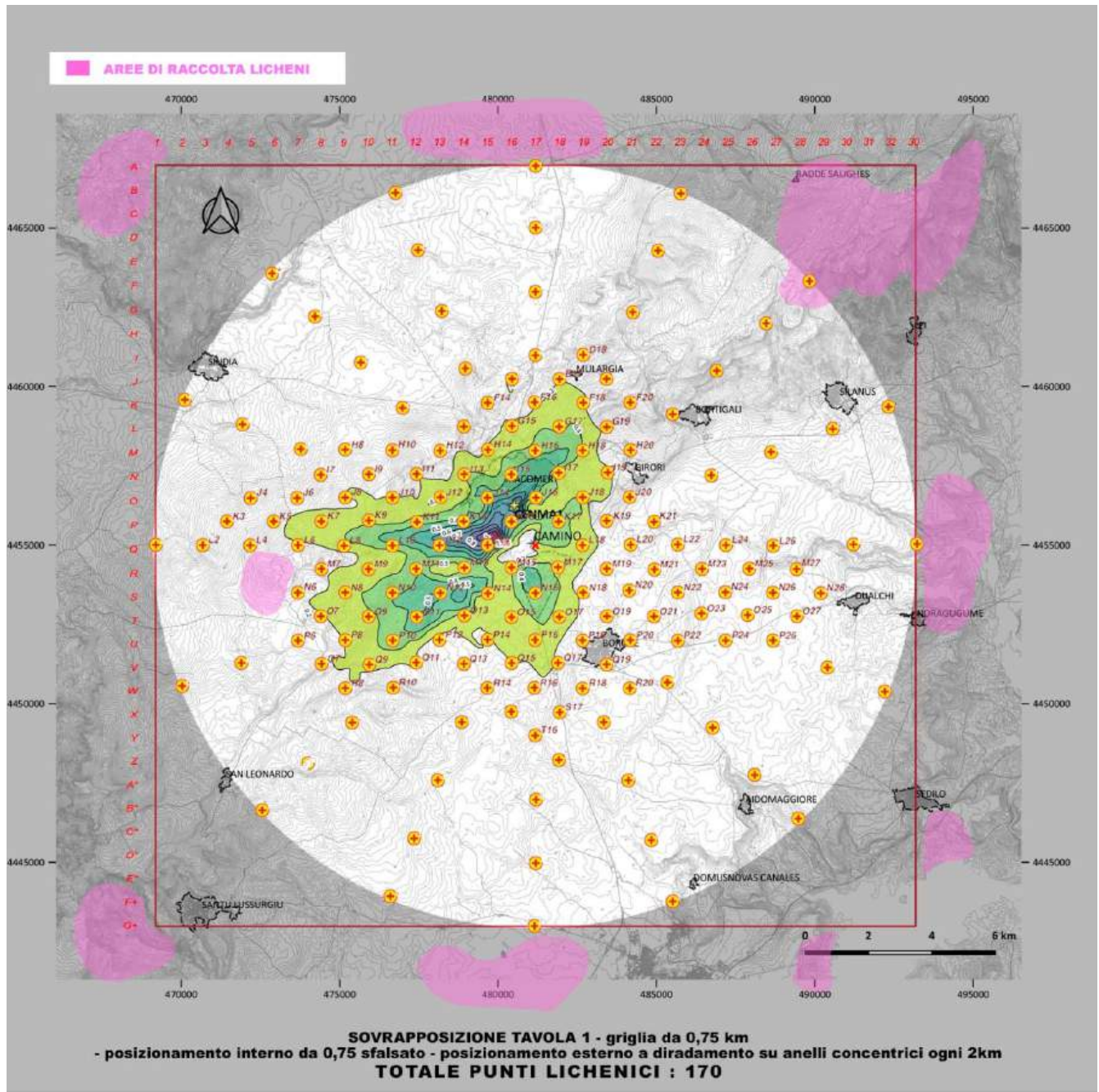


Fig.30. Elaborazione cartografica sulla distribuzione geografica delle UC in relazione al modello di ricaduta della SO₂ - valori medi orari



A.T.P. "C.C.W.R." progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile
 Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;
 Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;
 Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.
 Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

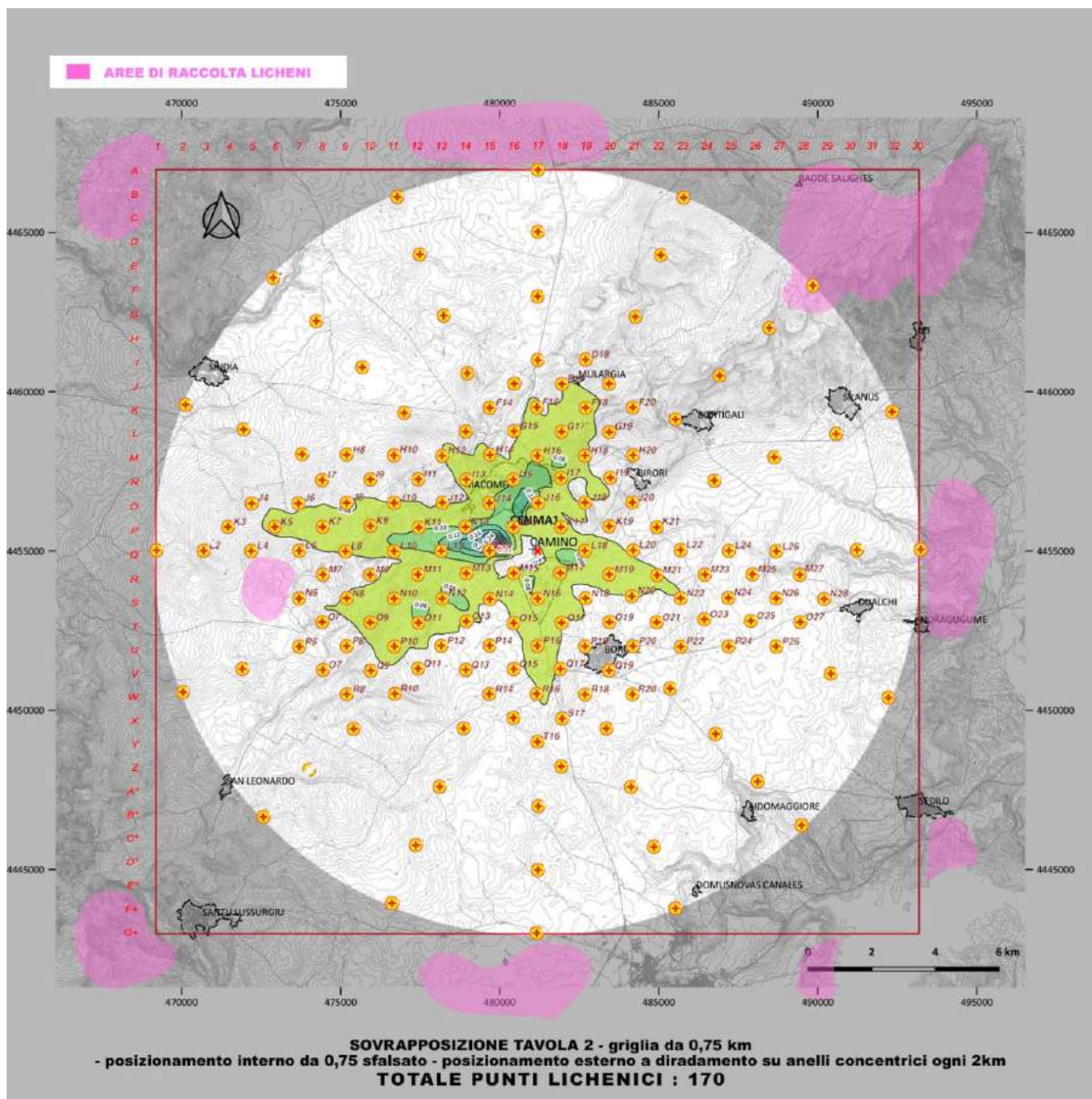


Fig.31. Elaborazione cartografica sulla distribuzione geografica delle UC in relazione al modello di ricaduta degli SO₂ - valori medi giornalieri



A.T.P "C.C.W.R" progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile
 Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;
 Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;
 Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.
 Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

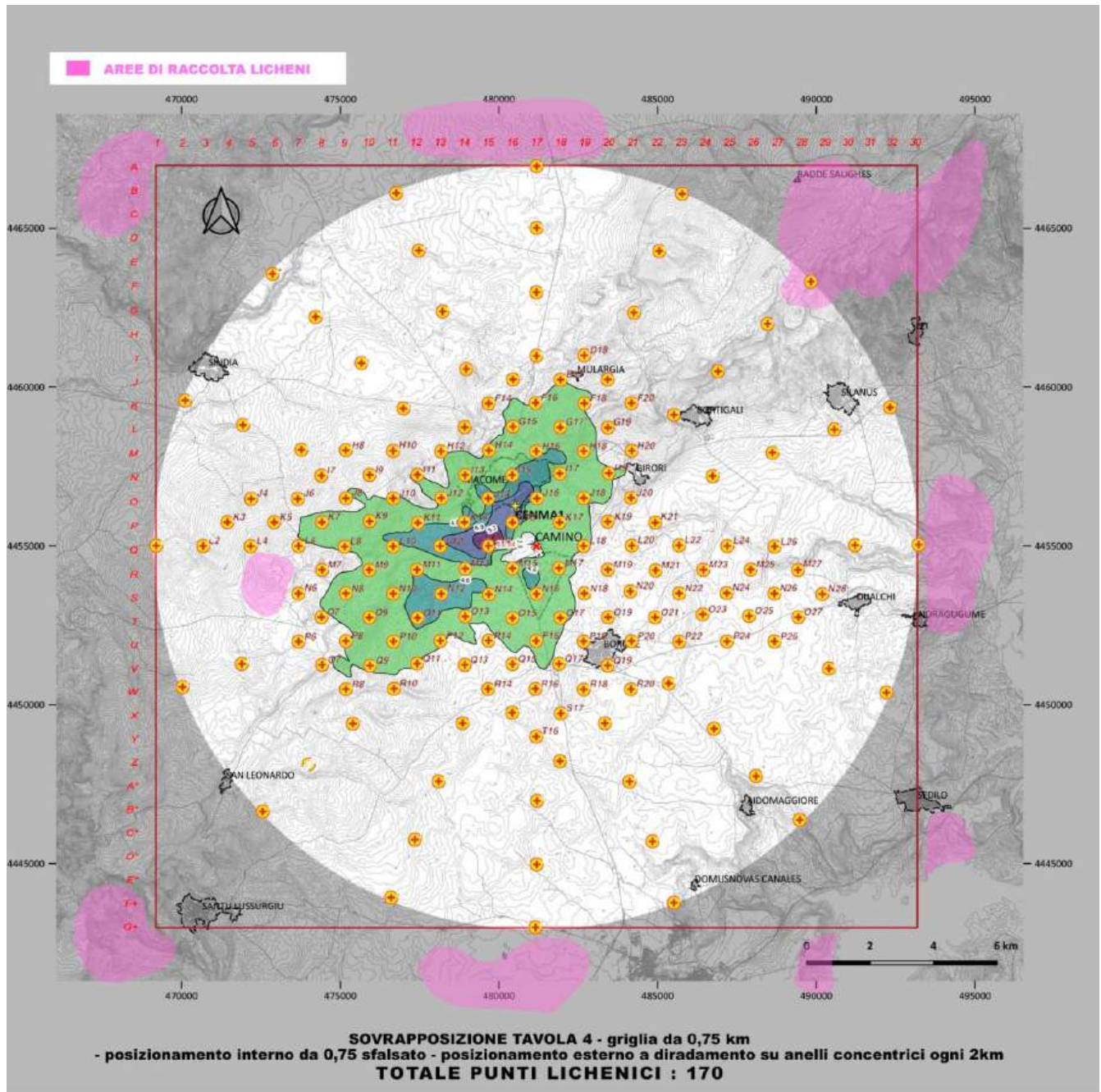


Fig.33. Elaborazione cartografica sulla distribuzione geografica delle UC in relazione al modello di ricaduta degli NOx - valori medi orari



A.T.P. "C.C.W.R" progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile
 Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;
 Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;
 Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.
 Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

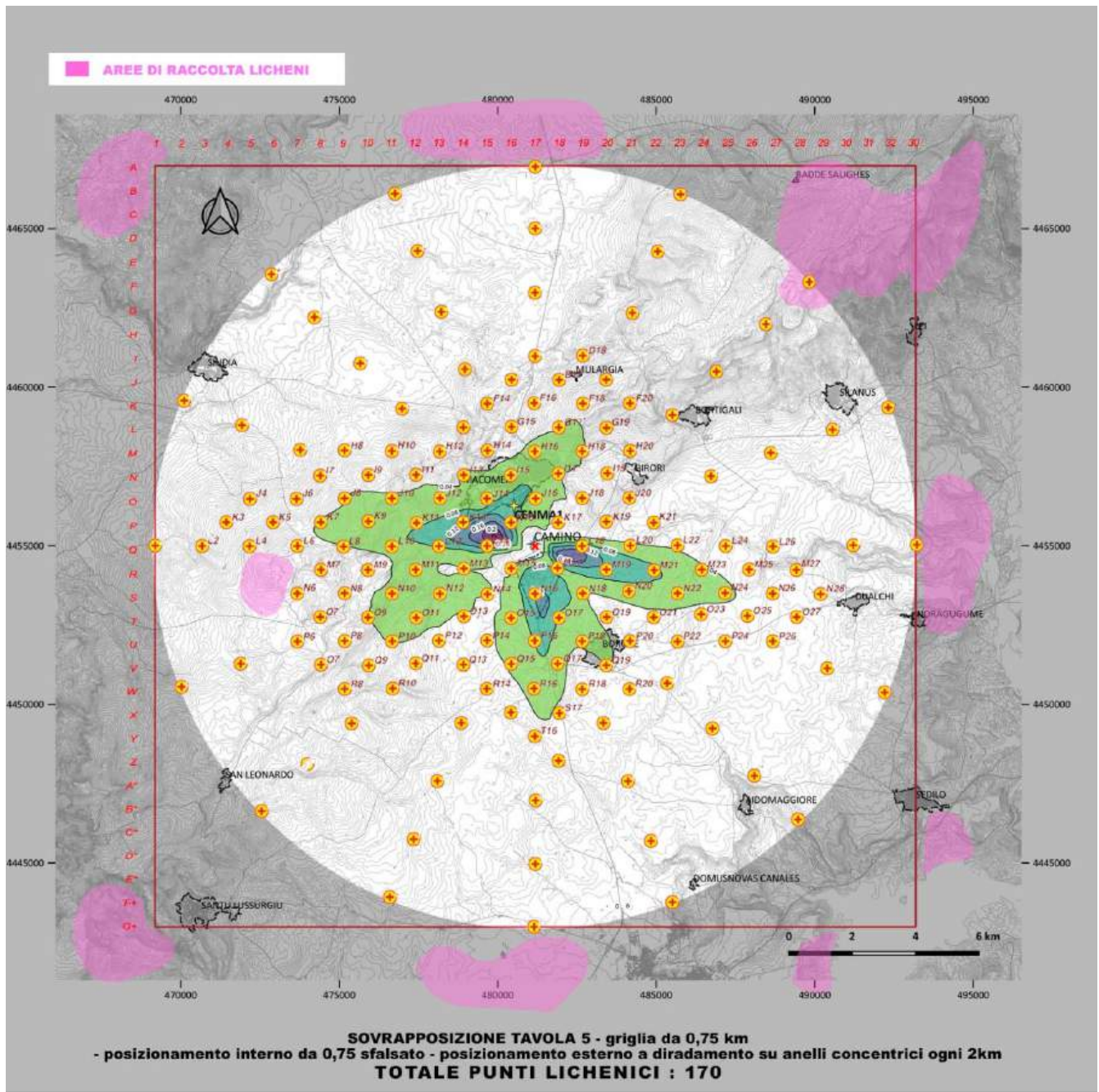


Fig.34. Elaborazione cartografica sulla distribuzione geografica delle UC in relazione al modello di ricaduta degli NOx - valori medi annui



A.T.P. "C.C.W.R." progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile
 Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;
 Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;
 Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.
 Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

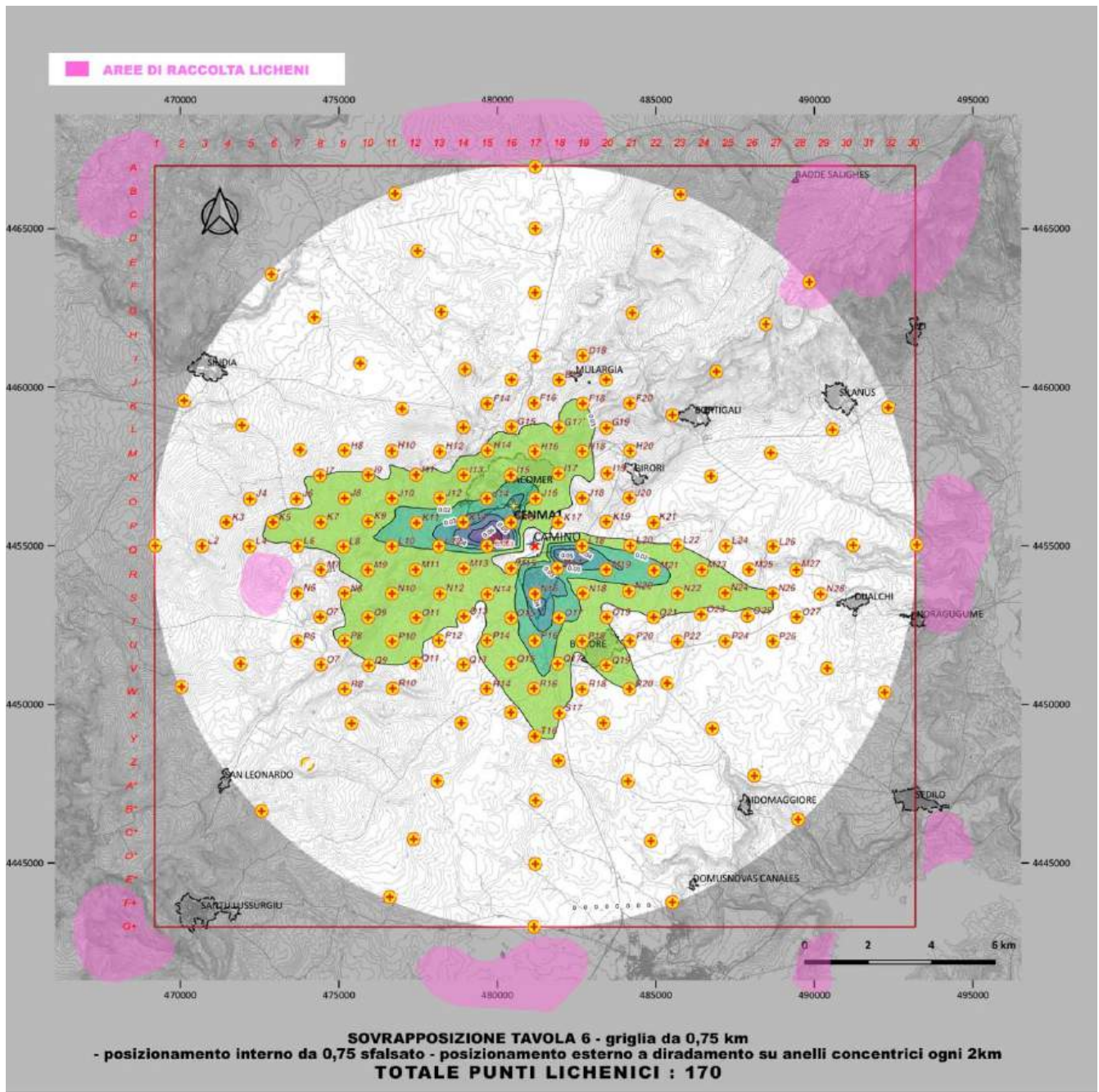


Fig.35. Elaborazione cartografica sulla distribuzione geografica delle UC in relazione al modello di ricaduta degli PM10 - valori medi giornalieri



A.T.P. "C.C.W.R." progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile
 Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;
 Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;
 Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.
 Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

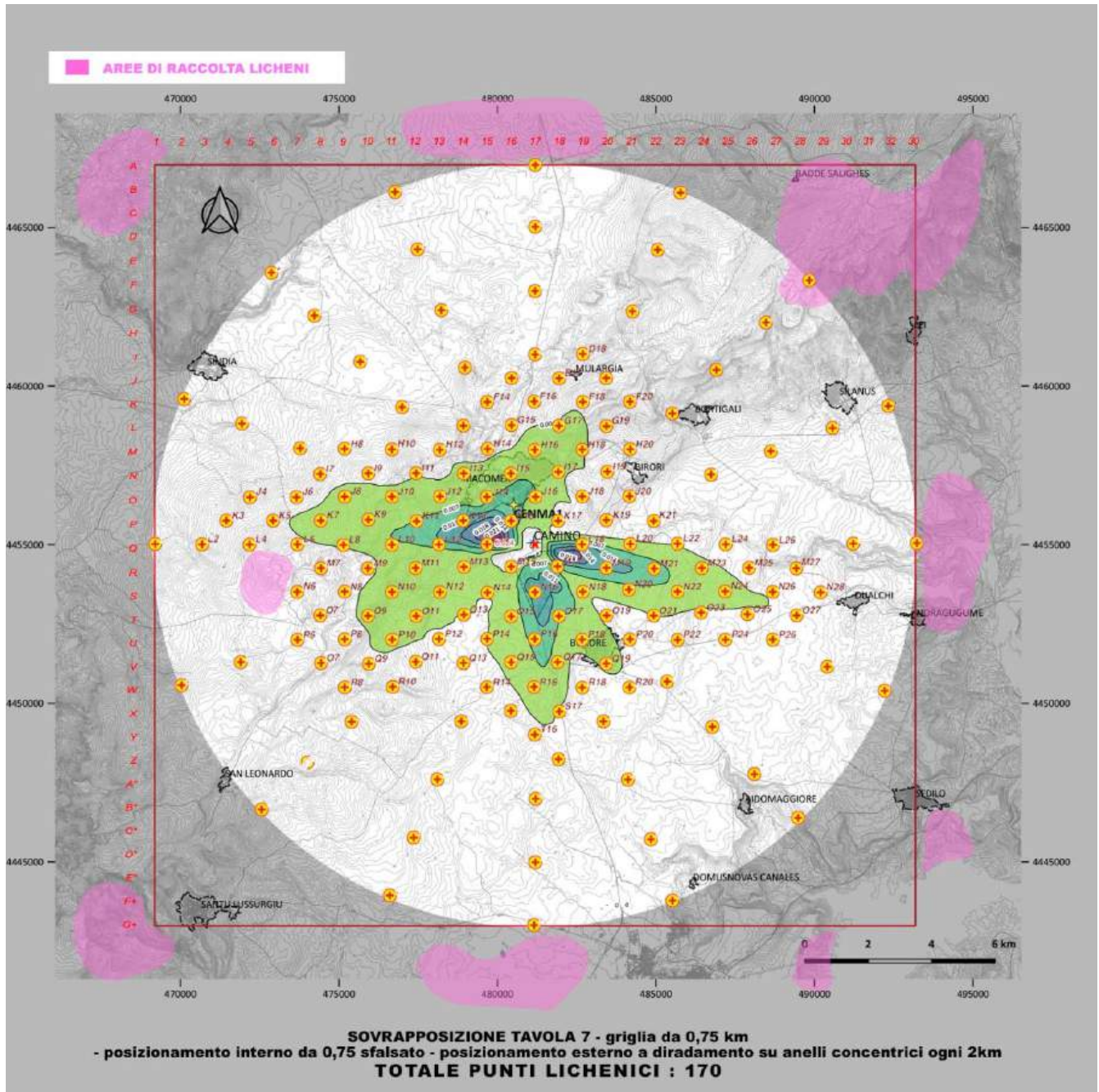


Fig. 36 . Elaborazione cartografica sulla distribuzione geografica delle UC in relazione al modello di ricaduta dei PM10 - valori medi annui



A.T.P. "C.C.W.R." progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile
 Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;
 Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;
 Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.
 Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

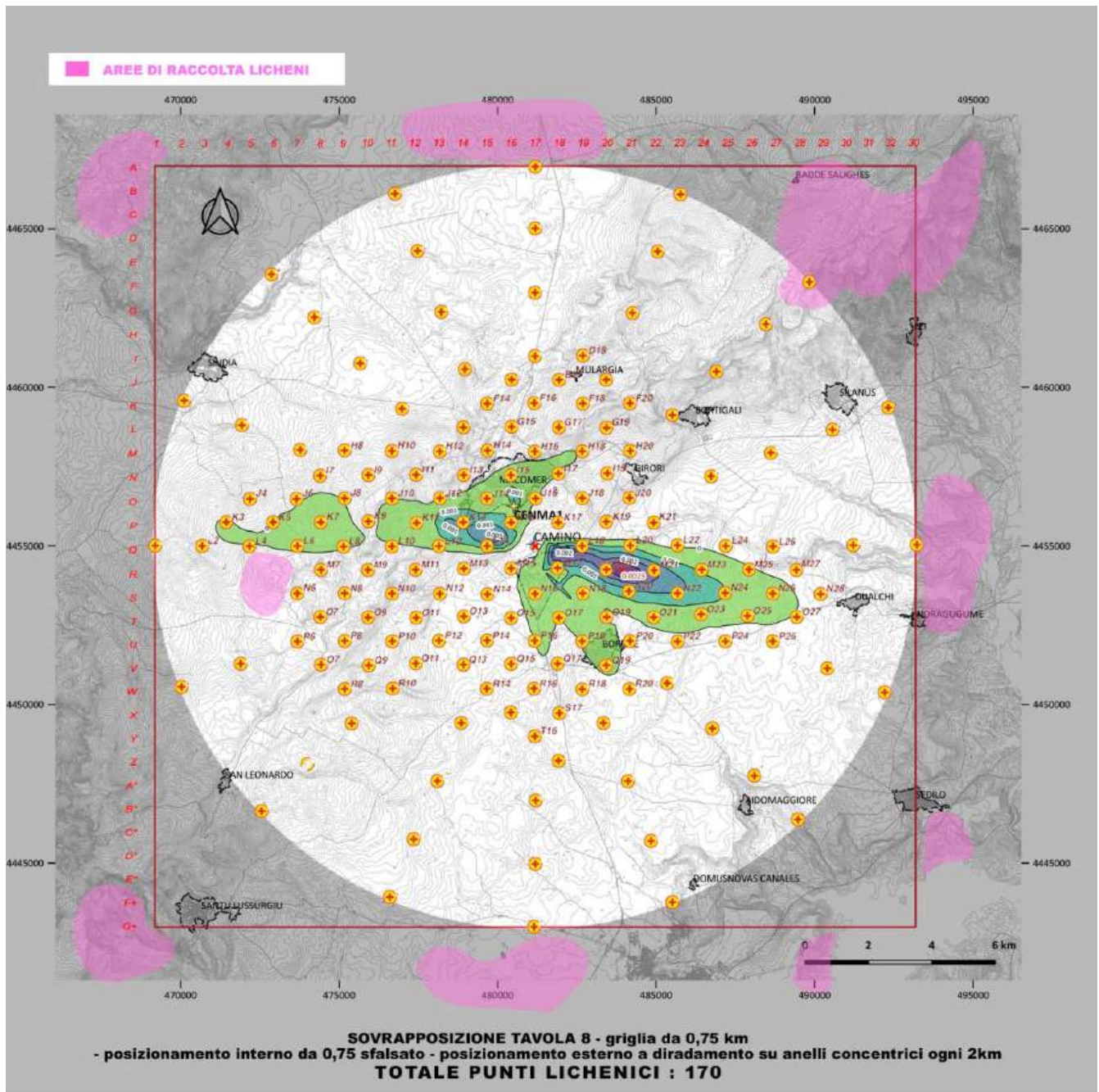


Fig. 37. Elaborazione cartografica sulla distribuzione geografica delle UC in relazione al modello di ricaduta dei PM10 – deposizione secca - valori medi annui



A.T.P. "C.C.W.R." progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile
 Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;
 Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;
 Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.
 Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

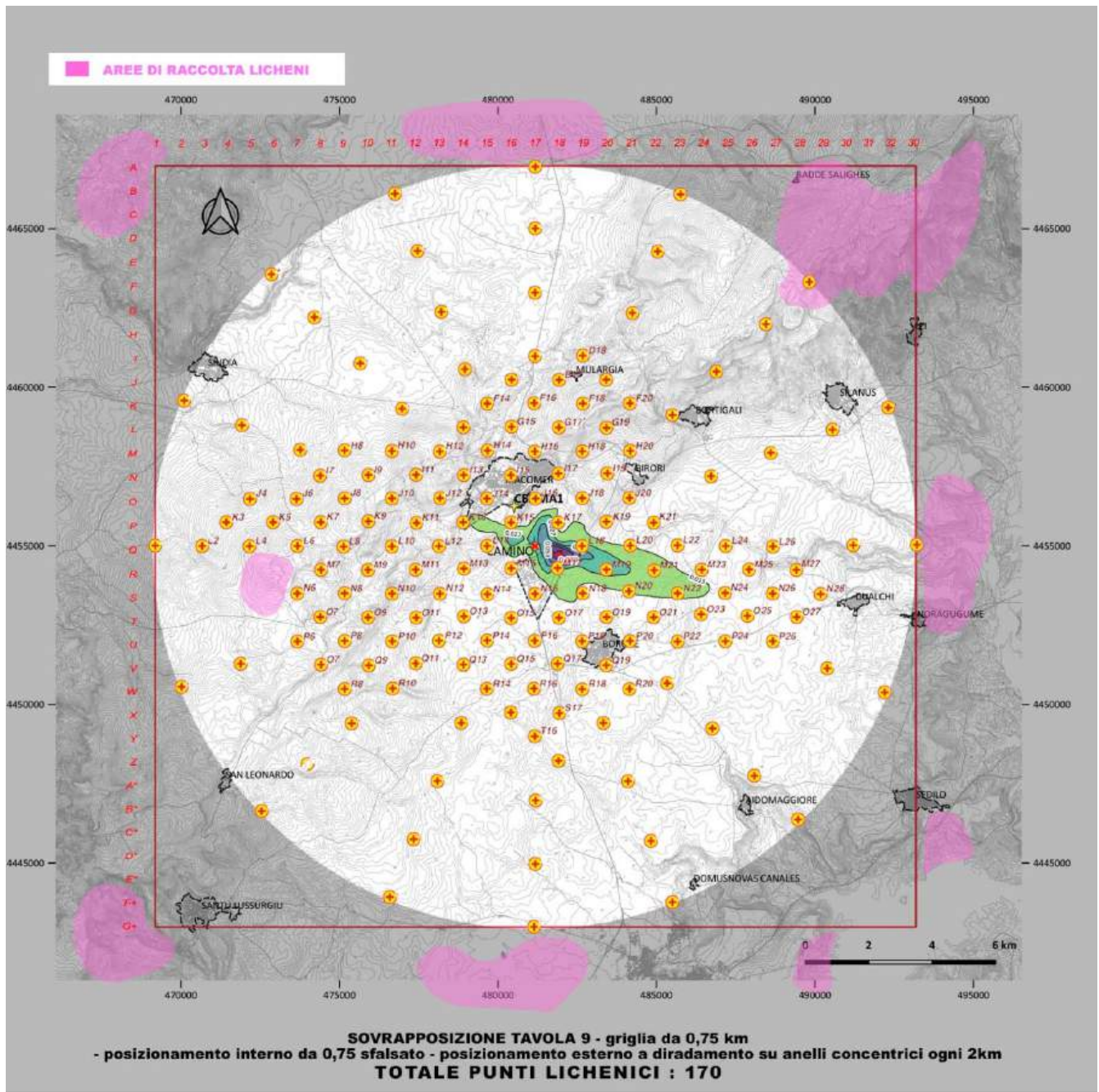


Fig. 38. Elaborazione cartografica sulla distribuzione geografica delle UC in relazione al modello di ricaduta dei PM10 – deposizione umida - valori medi annui



A.T.P. "C.C.W.R." progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile
 Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;
 Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;
 Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.
 Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

4m – INDIVIDUAZIONE IN CAMPO DEI PUNTI LICHENICI

Le rappresentazioni cartografiche delle figure precedenti mostrano la disposizione delle UC nell'area di studio. Ogni UC, come mostrato nella figura 20, corrisponde a un'area circolare con 500 m di diametro, all'interno della quale deve essere posizionata la gabbia lichenica. La cui posizione effettiva dipende dalla presenza o assenza di supporti disponibili, i quali devono essere il più vicino possibile al centro del cerchio.

L'individuazione di questi “punti lichenici o forofiti” è stata effettuata mediante l'osservazione delle foto satellitari dell'area di studio, al fine di controllare la presenza all'interno del buffer di traslazione, di strutture naturali (alberi) o artificiali (pali, edifici) su cui disporre le gabbie licheniche.

Nel caso di assenza di una qualunque struttura utilizzabile si dovrà provvedere con la messa in posto di nuovi pali di supporto per i trapianti lichenici .

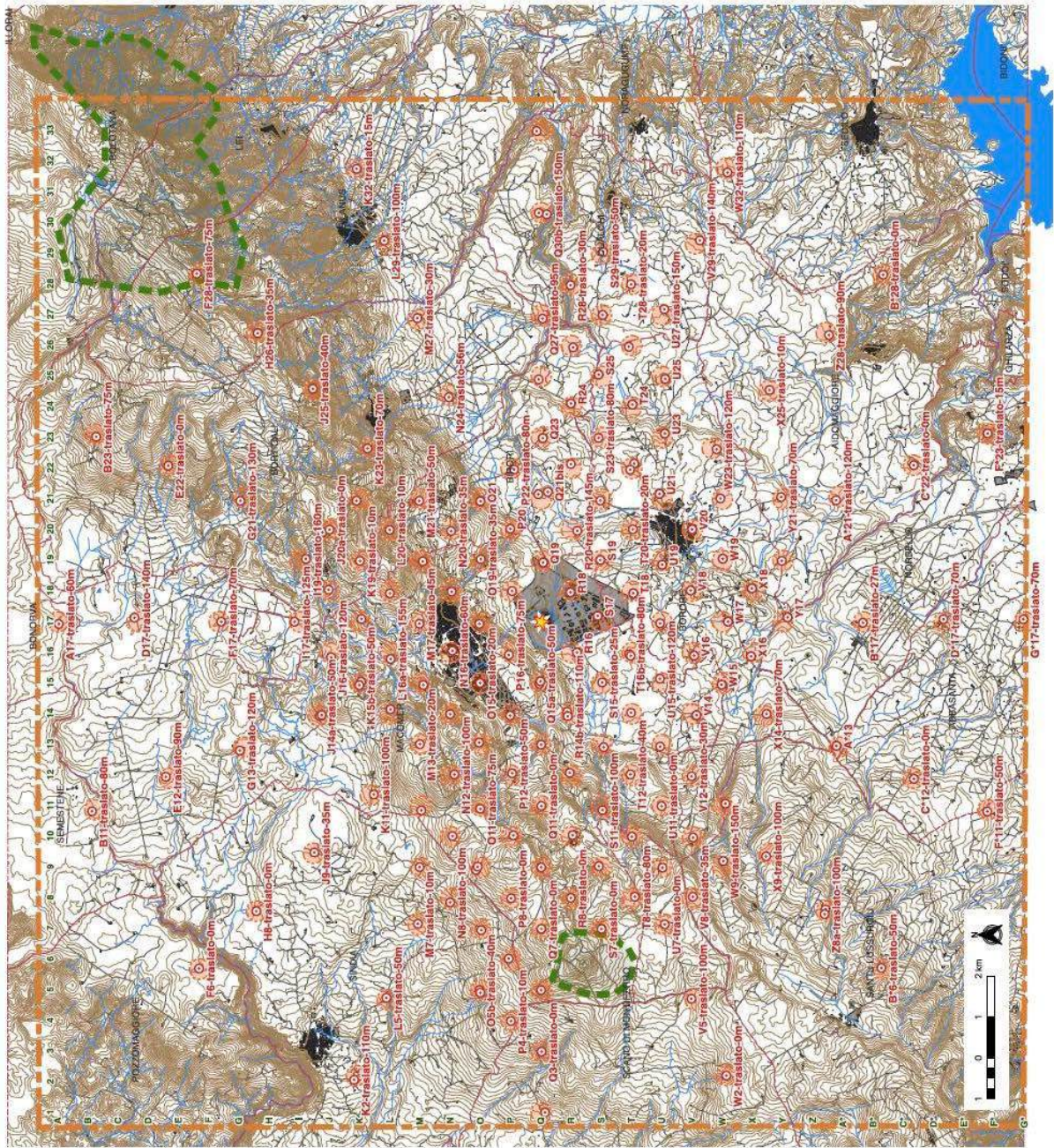
L'analisi delle foto satellitari, è stata accompagnata da svariati sopralluoghi di verifica in campo, che hanno portato alla individuazione della quasi totale presenza di strutture naturali utilizzabili esistenti all'interno delle aree buffer, per cui, allo stato attuale, la messa in posto di pali idonei all'esposizione dei licheni (forofiti artificiali), dovrebbe essere una situazione eccezionale. Occorreranno tuttavia dei supporti artificiali di minimale entità, da posizionare sulle strutture naturali presenti per ottenere una migliore esposizione dei talli e/o dei supporti lignei (tipo manico di scopa) come supporto.

Le strutture attualmente individuate risultano essere nel 90% dei casi naturali (alberi) e nella restante parte artificiali (palo elettrico in cemento).

Dalla procedura di verifica in campo, è stata generata la Carta dei punti lichenici, di cui alla fig.40. In questa Carta, aggiornata al 05 novembre 2024, sono visibili i punti lichenici e le corrispondenti UC. L'elaborato cartografico è accompagnato dalla tabella delle coordinate dei forofiti presenti nella mappa. La carta viene inserita quale **allegato A** del progetto come file pdf stampabile in formato A2, mentre la tabella è riportata come **allegato B**.

Durante la fase esecutiva delle attività, si provvederà alla verifica completa sulla reale presenza e sulla accessibilità, alle strutture individuate. Sarà indispensabile, perciò, ottenere l'autorizzazione all'accesso, da parte dei proprietari, negli appezzamenti muniti di recinzione, nei quali si trovano le piante identificate per il posizionamento dei campioni (forofiti). Questa attività di campo riconducibile alla fase attuativa del progetto, è stata sinora solo parzialmente svolta, in quanto non compresa nell'incarico, tuttavia ne è stata ampiamente sperimentata la sua validità per la *verifica dell'esecutività* immediata del progetto.





Consorzio per la
clw zona Industriale di
Macomer

**PIANO DI
BIOMONITORAGGIO DELLE
EMISSIONI GASOSE
A MEZZO DI LICHENI EPIFITI
E/O ALTRI NELL'AREA
INDUSTRIALE DI TOSSILO –
MACOMER**

Novembre 2024

**CARTA DEI
PUNTI
LICHENICI**

da verificare in fase operativa

scala 1:65000
base cartografica: DGBT SAR

Legenda:

- area di studio
- punto di emissione
- punti lichenici
- buffer di traslazione
- area di background
- limiti comunali
- idrografia
- isopae
- viabilità
- invasi
- edificato
- unità industriali

a cura di:

A.T.P. "C.C.W.R." progettazioni
e soluzioni ambientali, sviluppo
equo ed ecosostenibile

dr. biol. Francesco Aru (coordinatore)
dr. geol. Daniele Tomasi

Fig. 40. Carta dei punti lichenici aggiornata al 05 novembre 2024.



A.T.P. "C.C.W.R." progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile
Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;
Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;
Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.
Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

Coordinate dei punti lichenici individuati

n.	codice punto	coordinate	
1	A17	40°21'15.12"N	8°46'36.29"E
2	B11	40°20'47.91"N	8°43'22.36"E
3	B23	40°20'45.35"N	8°49'50.36"E
4	D17	40°20'14.19"N	8°46'42.97"E
5	E12	40°19'48.54"N	8°43'58.29"E
6	E22	40°19'47.28"N	8°49'20.46"E
7	F6	40°19'21.34"N	8°40'39.91"E
8	F17	40°19'4.35"N	8°46'39.13"E
9	F28	40°19'24.54"N	8°52'39.47"E
10	G13	40°18'49.02"N	8°44'25.72"E
11	G21	40°18'49.14"N	8°48'44.26"E
12	H8	40°18'35.39"N	8°41'39.44"E
13	H26	40°18'35.40"N	8°51'37.91"E
14	I17	40°18'5.32"N	8°46'39.24"E
15	I19	40°17'56.30"N	8°47'44.34"E
16	J9	40°17'48.81"N	8°42'40.44"E
17-a	J14-a	40°17'44.69"N	8°45'1.51"E
17-b	J14-b	40°17'43.23"N	8°45'2.74"E
18	J16	40°17'35.70"N	8°46'2.53"E
19	J18	40°17'37.88"N	8°47'12.41"E
20-a	J20-a	40°17'37.25"N	8°48'14.64"E
20-b	J20-b	40°17'42.98"N	8°48'11.91"E
21	J25	40°17'50.93"N	8°50'40.40"E
22	K2	40°17'16.11"N	8°38'45.27"E
23	K11	40°17'1.01"N	8°43'40.69"E
24-a	K15-a	40°17'11.49"N	8°45'37.33"E
24-b	K15-b	40°17'13.01"N	8°45'33.77"E
25	K17	40°17'11.46"N	8°46'42.30"E
26	K19	40°17'12.73"N	8°47'42.35"E
27	K21	40°17'15.60"N	8°48'44.64"E
28	K23	40°17'6.79"N	8°49'38.84"E
29	K32	40°17'15.88"N	8°54'28.21"E
30	L5	40°16'50.41"N	8°40'10.22"E
31	L14	40°16'47.85"N	8°45'8.87"E
32	L16	40°16'47.83"N	8°46'0.96"E

A.T.P "C.C.W.R" progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile

Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;

Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;

Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.

Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)



Coordinate dei punti lichenici individuati

n.	codice punto	coordinate	
33	L18	40°16'48.58"N	8°47'8.88"E
34	L20	40°16'48.85"N	8°48'14.48"E
35	L29	40°16'53.54"N	8°53'13.87"E
36	M7	40°16'25.26"N	8°41'27.03"E
37	M9	40°16'24.02"N	8°42'25.64"E
38	M11	40°16'22.80"N	8°43'24.38"E
39	M13	40°16'24.10"N	8°44'32.97"E
40	M15	40°16'21.44"N	8°45'34.08"E
41	M17	40°16'24.74"N	8°46'37.50"E
42	M19	40°16'22.17"N	8°47'42.04"E
43	M21	40°16'25.07"N	8°48'44.61"E
44	M27	40°16'26.89"N	8°51'53.68"E
45	N8	40°15'59.31"N	8°41'49.21"E
46	N10	40°15'57.60"N	8°42'57.89"E
47	N12	40°15'56.20"N	8°44'1.57"E
48	N14	40°15'59.77"N	8°45'4.09"E
49	N16	40°15'58.16"N	8°46'9.64"E
50	N18	40°15'58.86"N	8°47'10.82"E
51	N20	40°15'59.36"N	8°48'13.48"E
52	N24	40°16'1.45"N	8°50'31.93"E
53-a	O5-a	40°15'34.76"N	8°40'15.97"E
53-b	O5-b	40°15'35.48"N	8°40'18.72"E
54	O7	40°15'34.23"N	8°41'20.62"E
55-a	O9-a	40°15'38.54"N	8°42'22.96"E
55-b	O9-b	40°15'37.25"N	8°42'26.27"E
56	O11	40°15'35.36"N	8°43'26.22"E
57	O13	40°15'36.42"N	8°44'34.71"E
58	O15	40°15'35.81"N	8°45'36.40"E
59	O17	40°15'36.48"N	8°46'37.53"E
60	O19	40°15'35.40"N	8°47'44.42"E
61	O21	40°15'35.83"N	8°48'44.37"E
62	P4	40°15'10.06"N	8°39'46.71"E
63	P6	40°15'12.03"N	8°40'51.30"E
64	P8	40°15'10.25"N	8°41'53.79"E
65	P10	40°15'8.60"N	8°42'58.77"E

A.T.P "C.C.W.R" progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile

Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;

Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;

Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.

Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)



Coordinate dei punti lichenici individuati

n.	codice punto	coordinate	
66	P12	40°15'9.75"N	8°44'2.98"E
67	P14	40°15'11.51"N	8°45'2.75"E
68	P16	40°15'12.64"N	8°46'5.56"E
69	P18	40°15'10.21"N	8°47'11.52"E
70	P20	40°15'11.73"N	8°48'15.97"E
71	P22	40°15'8.77"N	8°49'17.25"E
72	Q1	40°14'42.21"N	8°38'12.25"E
73	Q3	40°14'45.28"N	8°39'15.22"E
74	Q5	40°14'45.79"N	8°40'18.83"E
75	Q7	40°14'45.84"N	8°41'22.28"E
76	Q9	40°14'46.07"N	8°42'25.81"E
77	Q11	40°14'46.10"N	8°43'29.38"E
78	Q13	40°14'46.37"N	8°44'32.79"E
79-a	Q15-a	40°14'47.90"N	8°45'35.72"E
79-b	Q15-b	40°14'47.16"N	8°45'38.22"E
80	Q19	40°14'45.21"N	8°47'41.15"E
81-a	Q21-a	40°14'49.22"N	8°48'51.72"E
81-b	Q21-b	40°14'41.56"N	8°48'54.24"E
82	Q23	40°14'45.73"N	8°49'49.81"E
83	Q25	40°14'49.15"N	8°50'50.51"E
84	Q27	40°14'46.02"N	8°51'53.50"E
85-a	Q30-a	40°14'49.21"N	8°53'42.86"E
85-b	Q30-b	40°14'42.79"N	8°53'41.35"E
86	Q33	40°14'51.03"N	8°55'7.43"E
87	R8	40°14'22.18"N	8°41'54.34"E
88	R10	40°14'20.89"N	8°42'59.22"E
89	R12	40°14'23.38"N	8°44'3.71"E
90-a	R14-a	40°14'25.53"N	8°45'6.85"E
90-b	R14-b	40°14'25.09"N	8°45'2.24"E
91	R16	40°14'17.85"N	8°46'8.11"E
92	R18	40°14'23.21"N	8°47'10.38"E
93	R20	40°14'17.81"N	8°48'14.03"E
94	R22	40°14'23.01"N	8°49'23.08"E
95	R24	40°14'23.11"N	8°50'25.73"E
96	R26	40°14'21.43"N	8°51'23.75"E

A.T.P "C.C.W.R" progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile

Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;

Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;

Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.

Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)



Coordinate dei punti lichenici individuati

n.	codice punto	coordinate	
97	R28	40°14'23.58"N	8°52'28.08"E
98	S7	40°13'57.38"N	8°41'22.33"E
99	S9	40°13'59.66"N	8°42'27.19"E
100	S11	40°13'56.92"N	8°43'25.27"E
101	S13	40°13'56.06"N	8°44'30.23"E
102	S15	40°13'57.44"N	8°45'37.25"E
103	S17	40°14'1.26"N	8°46'46.06"E
104	S19	40°13'59.16"N	8°47'43.86"E
105	S21	40°13'59.31"N	8°48'45.40"E
106	S23	40°14'0.84"N	8°49'50.23"E
107	S25	40°14'0.91"N	8°50'55.69"E
108	S27	40°13'57.66"N	8°51'57.36"E
109	S29	40°13'57.31"N	8°53'2.32"E
110	T8	40°13'30.62"N	8°41'55.75"E
111	T10	40°13'33.17"N	8°42'57.86"E
112	T12	40°13'34.46"N	8°44'2.30"E
113	T14	40°13'34.53"N	8°45'6.07"E
114-a	T16-a	40°13'34.53"N	8°46'4.88"E
114-b	T16-b	40°13'34.89"N	8°46'6.70"E
115	T18	40°13'32.55"N	8°47'9.53"E
116	T20	40°13'33.05"N	8°48'15.76"E
117-a	T22-a	40°13'32.03"N	8°49'23.68"E
117-b	T22-b	40°13'35.23"N	8°49'17.33"E
118	T24	40°13'33.58"N	8°50'24.66"E
119	T26	40°13'36.57"N	8°51'24.48"E
120	T28	40°13'34.83"N	8°52'29.10"E
121	U7	40°13'6.44"N	8°41'27.39"E
122	U9	40°13'8.44"N	8°42'25.93"E
123	U11	40°13'9.31"N	8°43'29.56"E
124	U13	40°13'10.59"N	8°44'31.16"E
125	U15	40°13'10.97"N	8°45'41.27"E
126	U17	40°13'10.92"N	8°46'38.64"E
127	U19	40°13'9.33"N	8°47'39.15"E
128	U21	40°13'11.63"N	8°48'52.45"E
129	U23	40°13'7.43"N	8°49'54.84"E

A.T.P "C.C.W.R" progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile

Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;

Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;

Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.

Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)



Coordinate dei punti lichenici individuati

n.	codice punto	coordinate	
130	U25	40°13'7.19"N	8°50'51.33"E
131	U27	40°13'8.05"N	8°52'3.34"E
132	V5	40°12'44.76"N	8°40'10.49"E
133	V8	40°12'43.91"N	8°41'55.92"E
134	V10	40°12'43.87"N	8°42'57.18"E
135	V12	40°12'45.22"N	8°44'0.46"E
136	V14	40°12'41.43"N	8°45'3.71"E
137	V16	40°12'43.45"N	8°46'5.24"E
138	V18	40°12'46.38"N	8°47'12.67"E
139	V20	40°12'46.58"N	8°48'15.85"E
140	V29	40°12'39.51"N	8°53'14.55"E
141	W2	40°12'14.46"N	8°38'53.64"E
142	W9	40°12'19.52"N	8°42'33.04"E
143	W11	40°12'17.91"N	8°43'32.35"E
144	W15	40°12'21.24"N	8°45'35.26"E
145	W17	40°12'16.23"N	8°46'40.49"E
146	W19	40°12'20.59"N	8°47'45.47"E
147	W21	40°12'22.59"N	8°48'47.78"E
148	W23	40°12'25.72"N	8°49'38.66"E
149	W32	40°12'17.29"N	8°54'24.81"E
150	X9	40°11'45.09"N	8°42'38.01"E
151	X14	40°11'45.01"N	8°45'5.24"E
152	X16	40°11'57.62"N	8°46'4.66"E
153	X18	40°11'57.07"N	8°47'14.96"E
154	X25	40°11'43.26"N	8°50'39.93"E
155	Y17	40°11'28.24"N	8°46'45.02"E
156	Y19	40°11'33.06"N	8°47'43.42"E
157	Y21	40°11'33.69"N	8°48'49.39"E
158-a	Z8-a	40°10'57.74"N	8°41'38.41"E
158-b	Z8-b	40°10'57.14"N	8°41'43.41"E
159	Z28	40°10'55.42"N	8°51'36.91"E
160	A*13	40°10'48.58"N	8°44'32.36"E
161	A*21	40°10'49.44"N	8°48'46.17"E
162	B*6	40°10'11.89"N	8°40'43.11"E
163	B*17	40°10'27.68"N	8°46'39.60"E

A.T.P "C.C.W.R" progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile

Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;

Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;

Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.

Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)



<i>Coordinate dei punti lichenici individuati</i>			
<i>n.</i>	<i>codice punto</i>	<i>coordinate</i>	
164	B*28	40°10'11.84"N	8°52'39.36"E
165	C*12	40° 9'46.25"N	8°43'58.58"E
166	C*22	40° 9'46.97"N	8°49'22.49"E
167	D*17	40° 9'22.79"N	8°46'43.53"E
168	F*11	40° 8'47.04"N	8°43'25.04"E
169	F*23	40° 8'47.50"N	8°49'55.53"E
170	G*17	40° 8'18.41"N	8°46'43.65"E

4n - CARTELLI IDENTIFICATIVI DEI PUNTI DI MONITORAGGIO LICHENICI

Su ogni forofita (punto lichenico) dovrà essere posizionato un apposito cartello descrittivo dell'attività svolta e identificativo del punto.

AL FINE DI:

- fornire un elemento di identificazione del punto lichenico e della struttura che lo sostiene (forofita),
- fornire una facile identificazione all'operatore che dovrà esporre e/o prelevare i campioni;
- fornire informazioni alle persone in transito presso il punto di monitoraggio, metterle a conoscenza della sua funzione e dell'importanza dell'attività svolta e conseguentemente prevenire atti vandalici.

Il cartello essendo esposto alla pioggia, vento, umidità, radiazione solare, dovrà essere realizzato su un supporto resistente e durevole, stampato con degli idonei inchiostri resistenti agli agenti atmosferici.

Le informazioni minimali da inserire sul cartello sono:

- nome e logo della struttura responsabile del progetto, nel caso specifico CIM;
- data di inizio del progetto, data di posizionamento del supporto, data di fine progetto;
- nome dell'attività in fase di svolgimento, ossia: "Progetto di biomonitoraggio sulla salubrità dell'aria conseguente alle emissioni gassose del termovalorizzatore di Tossilo";
- codice identificativo del forofita (punto lichenico), corrispondente a quello utilizzato nella cartografia di progetto;
- frase motivante al rispetto della struttura e dell'importanza della tutela ambientale;
- contatti telefonici di un responsabile operativo del progetto per la richiesta di informazioni e/o segnalare problematiche.



4o - SCHEDA DESCRITTIVA DEI PUNTI LICHENICI

Lo strumento di lavoro per l'esecuzione del progetto è la scheda descrittiva di ogni punto lichenico.

Nelle figure 41 e 42 si riporta un esempio di scheda realizzata per un punto scelto a caso, il T18.

Come si vede nell'immagine, la scheda è costituita da un minimo di due fogli.

Sul foglio dovrà essere riportato il logo e la denominazione della struttura responsabile del progetto, la denominazione del progetto, il codice identificativo del forofita (punto lichenico).

Nel primo foglio andranno disposti gli elementi caratterizzanti il punto e le strade d'accesso:

- una tabella con codice, coordinate e note descrittive;
- una foto dell'albero/palo;
- la mappa complessiva con base topografica in cui è evidenziata in giallo la posizione del punto e il buffer di traslazione che lo contiene;
- l'ortofoto satellitare del punto con il tracciato che andrà percorso per raggiungerlo, partendo dalla strada statale o provinciale più vicina.

Nel secondo foglio è presente una tabella composta da varie colonne, dove andranno inserite le date di esposizione del campione, le date di prelievo e nelle celle sottostanti gli elementi da monitorare. Pervenuti i dati delle analisi di laboratorio si dovranno riportare i valori analitici dei singoli elementi.

Nel caso specifico, sono state posizionate sei colonne utilizzabili per sei date di campionamento, riferibili a un biennio di monitoraggio, con prelievo dei campionamenti ogni quattro mesi per complessivi tre campionamenti annui. Questa scheda è utilizzabile sia in laboratorio che in campo.

I dati risultanti dalle analisi chimiche di ogni singolo prelievo, verranno trascritti per le varie elaborazioni anche su apposito file di excel.

Un esempio della suddetta scheda, con dati e immagini, viene inserita quale **Allegato C** del presente progetto.



A.T.P. "C.C.W.R." progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile

Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;

Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;

Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.

Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)



CIM - Consorzio per la Zona Industriale di Macomer in liquidazione
 Sede: località Tossilo, 08015 Macomer (NU)
 C.F. e P.IVA 00153150917

tel: 078571675 – 078570597 – fax: 078572125 e-
 mail: info@consorzioindustrialemacomer.it
 sito internet: www.consorzioindustrialemacomer.it

**PIANO DI BIOMONITORAGGIO DELLE EMISSIONI GASSOSE
 A MEZZO DI LICHENI EPIFITI E/O ALTRI NELL'AREA INDUSTRIALE di TOSSILO – MACOMER**
SCHEDA DESCRITTIVA PUNTO LICHENICO

numero	T18	foglio	1
latitudine	40°13'32.55"N		
longitudine	8°47'9.53"E		
annotazioni			

Situato all'interno di azienda agricola, proprietà sig. Costantino Stara 3393763672 parlato col sig. Francesco Zicchi 3473898156 (il figlio è titolare del Calzaturificio Andrea Zicchi).
 Traslato dal centro di 60 m.

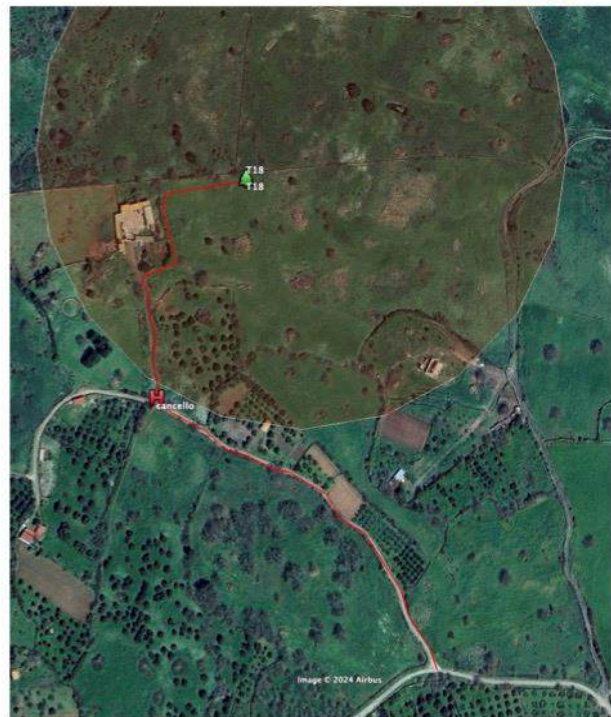
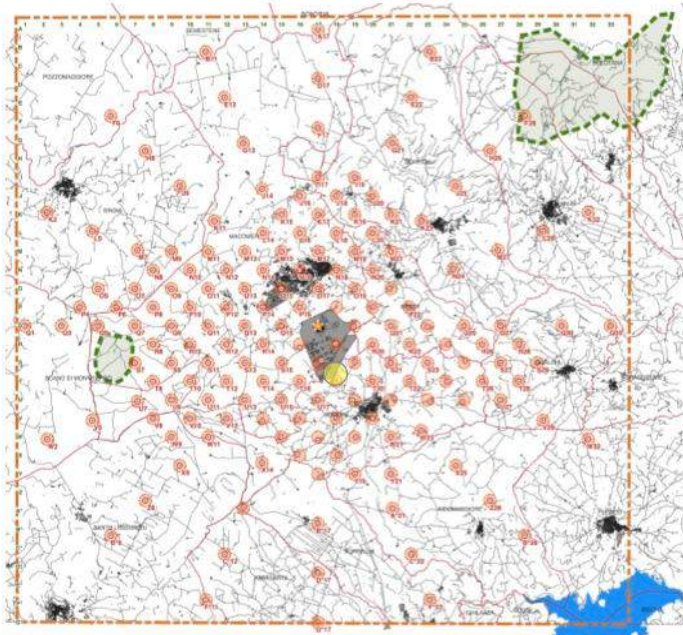


Fig. 41. Foglio 1 della scheda descrittiva di un punto di monitoraggio lichenico, es. compil. per il punto T18.



A.T.P. "C.C.W.R." progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile
 Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;
 Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;
 Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.
 Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)



CIM - Consorzio per la Zona Industriale di Macomer in liquidazione
Sede: località Tossilo, 08015 Macomer (NU)
C.F. e P.IVA 00153150917

tel: 078571675 – 078570597 – fax: 078572125 e-
mail: info@consorzioindustrialemacomer.it
sito internet: www.consorzioindustrialemacomer.it

DATI ANALITICI DEI CAMPIONI punto T18 foglio 2

Data	Data	Data	Data	Data	Data
Al	Al	Al	Al	Al	Al
As	As	As	As	As	As
Ba	Ba	Ba	Ba	Ba	Ba
Be	Be	Be	Be	Be	Be
Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca
Cd	Cd	Cd	Cd	Cd	Cd
Co	Co	Co	Co	Co	Co
Cr	Cr	Cr	Cr	Cr	Cr
Cs	Cs	Cs	Cs	Cs	Cs
Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe
K	K	K	K	K	K
Hg	Hg	Hg	Hg	Hg	Hg
Li	Li	Li	Li	Li	Li
Ni	Ni	Ni	Ni	Ni	Ni
Na	Na	Na	Na	Na	Na
Pb	Pb	Pb	Pb	Pb	Pb
S	S	S	S	S	S
Se	Se	Se	Se	Se	Se
Sn	Sn	Sn	Sn	Sn	Sn
Ti	Ti	Ti	Ti	Ti	Ti
U	U	U	U	U	U
V	V	V	V	V	V
Zn	Zn	Zn	Zn	Zn	Zn
Zr	Zr	Zr	Zr	Zr	Zr

Fig. 42. Foglio 2 della scheda descrittiva di un punto di monitoraggio lichenico, esempio di compilazione.



A.T.P. "C.C.W.R." progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile
Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;
Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;
Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.
Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

4p - ESPOSIZIONE DEI CAMPIONI NELLE UC

In ogni UC dovranno essere esposti almeno tre campioni lichenici. Un campione corrisponde ad un certo numero di talli utili all'ottenimento di un'adeguata massa per l'esecuzione delle analisi di laboratorio. I talli necessari per un campione possono essere trapiantati tal quali o assicurati a un supporto detto "espositore" o "gabbia lichenica". Qualora si utilizzino degli espositori, un singolo espositore deve supportare un numero di talli utile alla costituzione di un singolo campione, perciò per esporre tre campioni in una UC, saranno necessari tre espositori.

I campioni dovranno essere posizionati tra i 2 e i 4 m dal suolo, lontano da possibili fonti micro-contaminanti (p. es. grondaie, tetti e cavi elettrici); la metodologia di esposizione dovrebbe inoltre essere conservata per tutta la campagna di monitoraggio, garantendo perciò l'uso di un unico tipo di supporto (alberi o supporti artificiali), una sola tipologia di espositore e un'altezza da terra costante. L'orientamento cardinale (N, S, O, E) dei campioni o degli espositori sui loro supporti di campo deve essere determinato attraverso un processo di randomizzazione. Qualora i supporti naturali o artificiali scarseggino in una UC, i campioni lichenici dovranno comunque essere posizionati ad una distanza minima di 3 metri l'uno dall'altro. Nel caso in cui si utilizzino i rami degli alberi come supporto, i campioni potranno essere esposti sia all'interno che all'esterno della chioma.

I campioni dovranno essere esposti per un periodo minimo compreso fra le 8 e le 16 settimane. La settimana deve essere sempre e comunque usata come unità di base per la quantificazione della durata dell'esposizione. Nel caso di monitoraggi ripetuti, la durata dell'esposizione dovrà essere mantenuta costante.

4q – ALLESTIMENTO DEI SUPPORTI PER L'ESPOSIZIONE DEI TRAPIANTI LICHENICI

Esistono varie possibilità di allestimento dei supporti che sostengono i licheni in esposizione, nelle immagini seguenti vengono mostrati alcuni esempi che potranno essere adottati in questo progetto.



A.T.P. "C.C.W.R." progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile

Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;

Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;

Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.

Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

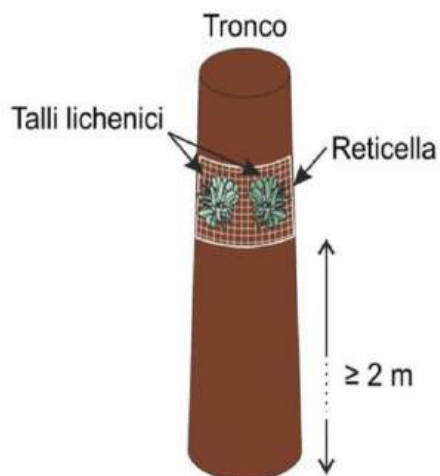


Fig. 40. Schema per l'allestimento dei campioni sul tronco della pianta o su supporto artificiale.

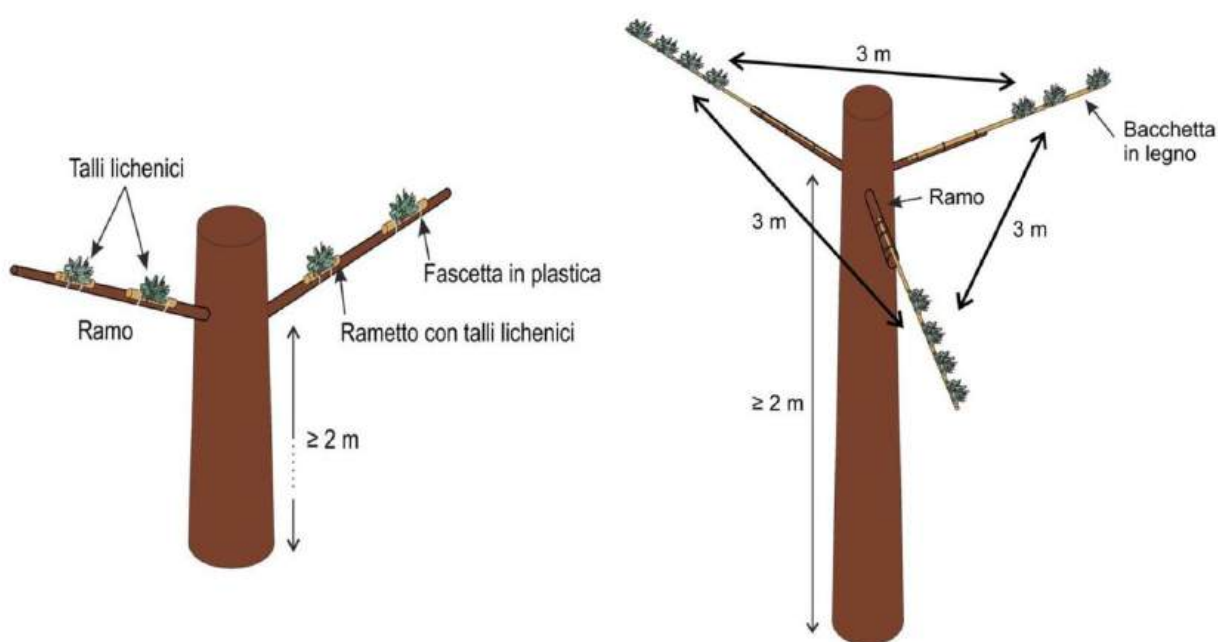


Fig. 41. Schemi di campioni lichenici allestiti per il trapianto sui rami degli alberi o su supporti artificiali.



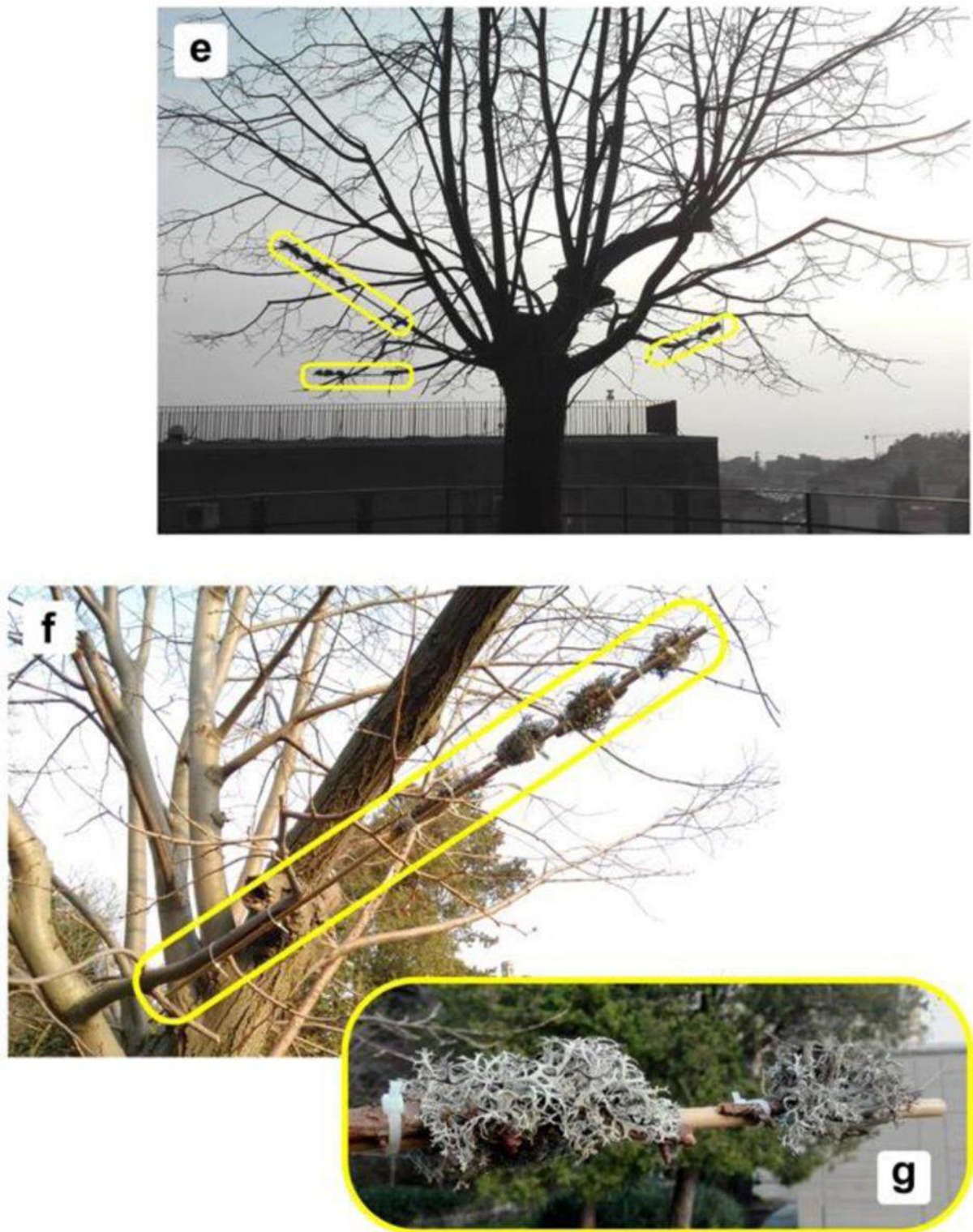


Fig. 42. Esempio di campioni lichenici allestiti con trapianto sui rami degli alberi come negli schemi della figura precedente.



A.T.P. "C.C.W.R." progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile
 Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;
 Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;
 Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.
 Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

5 - BIBLIOGRAFIA

1- riferimenti normativi:

- Parlamento e Consiglio Europeo - Direttiva Europea 2008/50/CE
- Codice penale Italia - Decreto Legislativo 155/2010
- Parlamento e Consiglio Europeo - Direttiva Europea 2008/99/CE
- Codice penale Italia - Decreto Legislativo 121/2011
- Codice penale Italia - Legge 68/2015 titolo VI bis

2- riferimenti scientifici e tecnici:

- Carta Tecnica Regionale scala 1:10.000, ricompresa nel Database geotopografico DBGT_10K_22_V04, SITR Regione Autonoma della Sardegna.
- Carta Geologica Regionale scala 1:50.000, Database geotopografico DBGT_10K_22_V04, SITR Regione Autonoma della Sardegna.
- Carta dei suoli della Sardegna, scala 1:250.000, Aru et ali, 1991, RAS-UNICA.
- Dati climatici del Settore Idrografico del Servizio Difesa del Suolo, Assessorato dei Lavori Pubblici, Regione Autonoma della Sardegna.
- Dati climatici Meteoblu - <https://www.meteoblue.com/it/historyplus>
- Aa.Vv. (2014). Studio della qualità dell'aria mediante licheni nella zona del termovalorizzatore di San Vittore. ARPA Lazio. Report_2014_SRI.SLA.CH_01.
- Massacci G., Levanti C. (2019). Impianto di termoutilizzazione - Dispersione degli inquinanti in atmosfera. A cura di CINIGeo (Consorzio Interuniversitario Nazionale per l'Ingegneria delle Georisorse tra le Università di Bologna, Cagliari, Roma "La Sapienza", Trieste) per TOSSILO TECNOSERVICE s.p.a.
- Aa.Vv. (2019). Linee guida per l'utilizzo dei licheni come bioaccumulatori. Manuali e linee guida 189/2019, ISPRA, ISBN 978-88-448-0966-9.
- Wolterbeek HT, Bode P (1995). Strategies in sampling and sample handling in the context of large-scale plant biomonitoring surveys of trace element air pollution. Science of the Total Environment 176, 33-43.
- Elzinga CL, Salzer DW, Willoughby JW, Gibbs JP (2001). Monitoring plant and animal



populations. Blackwell Science, Malden, Massachusetts.

- US EPA (2002). Guidance for Quality Assurance Project Plans. EPA QA/G-5, Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA.
- Adamo P, Bargagli R, Giordano S, Modenesi P, Monaci F, Pittao E, Spagnuolo V, Tretiach M (2008). Natural and pre-treatments induced variability in the chemical composition and morphology of lichens and mosses selected for active monitoring of airborne elements. *Environmental Pollution* 152(1), 11-19.
- Tretiach M, Candotto Carniel F, Loppi S, Carniel A, Bortolussi A, Mazzilis D, Del Bianco C (2011). Lichen transplants as a suitable tool to identify mercury pollution from waste incinerators: a case study from NE Italy. *Environmental Monitoring and Assessment* 175, 589–600.
- Nimis PL (2016). *The Lichens of Italy. A Second Annotated Catalogue*. EUT, Trieste, 739 pp.
- Loppi S, Ravera S, Paoli L (2019). Coping with uncertainty in the assessment of atmospheric pollution with lichen transplants. *Environmental Forensics*, DOI: 10.1080/15275922.2019.1627615.
- Nimis PL, Ciccarelli A, Lazzarini G, Bargagli D, Benedet A, Castello M, Gasparro D, Lausi D, Olivieri S, Tretiach M (1989). I Licheni come bioindicatori di inquinamento atmosferico nell'area di Schio – Thiene – Breganze (VI). *Bollettino del Museo Civico di Storia Naturale di Verona – Vol. 16 - 1989*

In fede di scienza e coscienza.

Villacidro, Novembre 2024.

Ph.D Francesco Aru

Dott..geol.Daniele Tomasi



A.T.P. "C.C.W.R." progettazioni e soluzioni ambientali, sviluppo equo ed ecosostenibile
 Prof. Angelo Aru, agronomo già ordinario geopedologia, dipartimento di scienze della terra Università Cagliari;
 Ph.D. Biologo Francesco Aru: ingegneria ambientale e metodologie legate all'ambiente ed al territorio;
 Dott. Geol. Daniele Tomasi: geopedologo ed esperto di processi di degrado e di desertificazione.
 Dott.ssa Agnese Deidda Biologa – Dott.ssa in Scienze Biologiche Alessia Aru (collaboratrici)

**PIANO DI
BIOMONITORAGGIO DELLE
EMISSIONI GASSOSE
A MEZZO DI LICHENI EPIFITI
E/O ALTRI NELL'AREA
INDUSTRIALE di TOSSILO –
MACOMER**













Novembre 2024

**- Allegato A -
CARTA DEI
PUNTI
LICHENICI**

da verificare in fase operativa

scala 1:65000
base cartografica: DGBT SAR

Legenda:

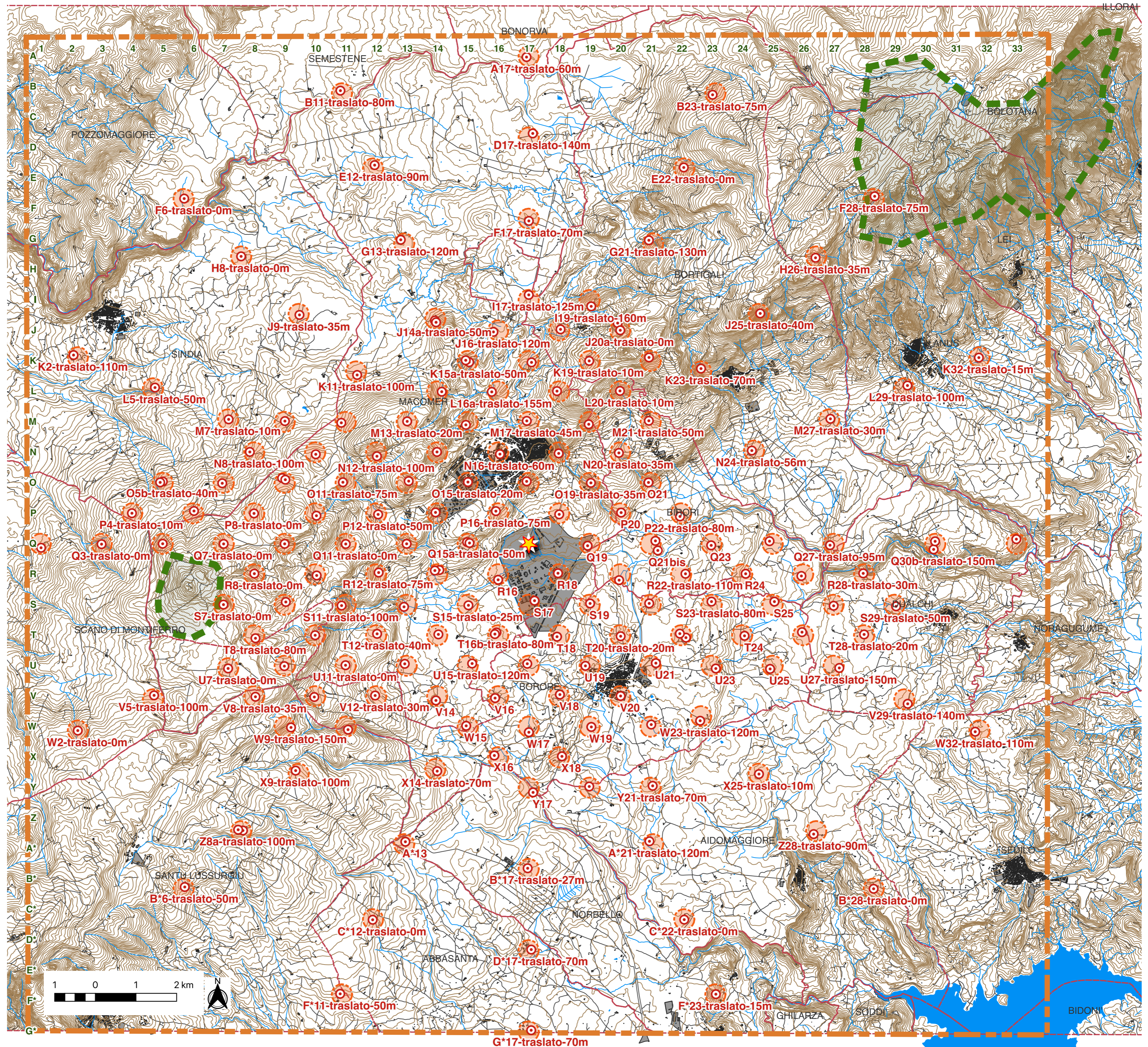
-  area di studio
-  punto di emissione
-  punti lichenici
-  buffer di traslazione
-  area di background
-  limiti comunali
-  idrografia
-  isoipse
-  viabilità
-  invasi
-  edificato
-  unita industriali

a cura di:



**A.T.P. "C.C.W.R." progettazioni
e soluzioni ambientali, sviluppo
equo ed ecosostenibile**

dr.biol. Francesco Aru (coordinatore)
dr.geol. Daniele Tomasi





**PIANO DI BIOMONITORAGGIO DELLE EMISSIONI GASSOSE
A MEZZO DI LICHENI EPIFITI E/O ALTRI NELL'AREA INDUSTRIALE di TOSSILO – MACOMER**

Allegato B - COORDINATE DEI PUNTI LICHENICI
(da verificare in fase operativa)

n.	codice punto	coordinate	
1	A17	40°21'15.12"N	8°46'36.29"E
2	B11	40°20'47.91"N	8°43'22.36"E
3	B23	40°20'45.35"N	8°49'50.36"E
4	D17	40°20'14.19"N	8°46'42.97"E
5	E12	40°19'48.54"N	8°43'58.29"E
6	E22	40°19'47.28"N	8°49'20.46"E
7	F6	40°19'21.34"N	8°40'39.91"E
8	F17	40°19'4.35"N	8°46'39.13"E
9	F28	40°19'24.54"N	8°52'39.47"E
10	G13	40°18'49.02"N	8°44'25.72"E
11	G21	40°18'49.14"N	8°48'44.26"E
12	H8	40°18'35.39"N	8°41'39.44"E
13	H26	40°18'35.40"N	8°51'37.91"E
14	I17	40°18'5.32"N	8°46'39.24"E
15	I19	40°17'56.30"N	8°47'44.34"E
16	J9	40°17'48.81"N	8°42'40.44"E
17-a	J14-a	40°17'44.69"N	8°45'1.51"E
17-b	J14-b	40°17'43.23"N	8°45'2.74"E
18	J16	40°17'35.70"N	8°46'2.53"E
19	J18	40°17'37.88"N	8°47'12.41"E
20-a	J20-a	40°17'37.25"N	8°48'14.64"E
20-b	J20-b	40°17'42.98"N	8°48'11.91"E
21	J25	40°17'50.93"N	8°50'40.40"E
22	K2	40°17'16.11"N	8°38'45.27"E
23	K11	40°17'1.01"N	8°43'40.69"E
24-a	K15-a	40°17'11.49"N	8°45'37.33"E
24-b	K15-b	40°17'13.01"N	8°45'33.77"E
25	K17	40°17'11.46"N	8°46'42.30"E
26	K19	40°17'12.73"N	8°47'42.35"E
27	K21	40°17'15.60"N	8°48'44.64"E
28	K23	40°17'6.79"N	8°49'38.84"E
29	K32	40°17'15.88"N	8°54'28.21"E



n.	codice punto	coordinate	
1	A17	40°21'15.12"N	8°46'36.29"E
30	L5	40°16'50.41"N	8°40'10.22"E
31	L14	40°16'47.85"N	8°45'8.87"E
32	L16	40°16'47.83"N	8°46'0.96"E
33	L18	40°16'48.58"N	8°47'8.88"E
34	L20	40°16'48.85"N	8°48'14.48"E
35	L29	40°16'53.54"N	8°53'13.87"E
36	M7	40°16'25.26"N	8°41'27.03"E
37	M9	40°16'24.02"N	8°42'25.64"E
38	M11	40°16'22.80"N	8°43'24.38"E
39	M13	40°16'24.10"N	8°44'32.97"E
40	M15	40°16'21.44"N	8°45'34.08"E
41	M17	40°16'24.74"N	8°46'37.50"E
42	M19	40°16'22.17"N	8°47'42.04"E
43	M21	40°16'25.07"N	8°48'44.61"E
44	M27	40°16'26.89"N	8°51'53.68"E
45	N8	40°15'59.31"N	8°41'49.21"E
46	N10	40°15'57.60"N	8°42'57.89"E
47	N12	40°15'56.20"N	8°44'1.57"E
48	N14	40°15'59.77"N	8°45'4.09"E
49	N16	40°15'58.16"N	8°46'9.64"E
50	N18	40°15'58.86"N	8°47'10.82"E
51	N20	40°15'59.36"N	8°48'13.48"E
52	N24	40°16'1.45"N	8°50'31.93"E
53-a	O5-a	40°15'34.76"N	8°40'15.97"E
53-b	O5-b	40°15'35.48"N	8°40'18.72"E
54	O7	40°15'34.23"N	8°41'20.62"E
55-a	O9-a	40°15'38.54"N	8°42'22.96"E
55-b	O9-b	40°15'37.25"N	8°42'26.27"E
56	O11	40°15'35.36"N	8°43'26.22"E
57	O13	40°15'36.42"N	8°44'34.71"E
58	O15	40°15'35.81"N	8°45'36.40"E
59	O17	40°15'36.48"N	8°46'37.53"E
60	O19	40°15'35.40"N	8°47'44.42"E
61	O21	40°15'35.83"N	8°48'44.37"E
62	P4	40°15'10.06"N	8°39'46.71"E
63	P6	40°15'12.03"N	8°40'51.30"E
64	P8	40°15'10.25"N	8°41'53.79"E



n.	codice punto	coordinate	
1	A17	40°21'15.12"N	8°46'36.29"E
65	P10	40°15'8.60"N	8°42'58.77"E
66	P12	40°15'9.75"N	8°44'2.98"E
67	P14	40°15'11.51"N	8°45'2.75"E
68	P16	40°15'12.64"N	8°46'5.56"E
69	P18	40°15'10.21"N	8°47'11.52"E
70	P20	40°15'11.73"N	8°48'15.97"E
71	P22	40°15'8.77"N	8°49'17.25"E
72	Q1	40°14'42.21"N	8°38'12.25"E
73	Q3	40°14'45.28"N	8°39'15.22"E
74	Q5	40°14'45.79"N	8°40'18.83"E
75	Q7	40°14'45.84"N	8°41'22.28"E
76	Q9	40°14'46.07"N	8°42'25.81"E
77	Q11	40°14'46.10"N	8°43'29.38"E
78	Q13	40°14'46.37"N	8°44'32.79"E
79-a	Q15-a	40°14'47.90"N	8°45'35.72"E
79-b	Q15-b	40°14'47.16"N	8°45'38.22"E
80	Q19	40°14'45.21"N	8°47'41.15"E
81-a	Q21-a	40°14'49.22"N	8°48'51.72"E
81-b	Q21-b	40°14'41.56"N	8°48'54.24"E
82	Q23	40°14'45.73"N	8°49'49.81"E
83	Q25	40°14'49.15"N	8°50'50.51"E
84	Q27	40°14'46.02"N	8°51'53.50"E
85-a	Q30-a	40°14'49.21"N	8°53'42.86"E
85-b	Q30-b	40°14'42.79"N	8°53'41.35"E
86	Q33	40°14'51.03"N	8°55'7.43"E
87	R8	40°14'22.18"N	8°41'54.34"E
88	R10	40°14'20.89"N	8°42'59.22"E
89	R12	40°14'23.38"N	8°44'3.71"E
90-a	R14-a	40°14'25.53"N	8°45'6.85"E
90-b	R14-b	40°14'25.09"N	8°45'2.24"E
91	R16	40°14'17.85"N	8°46'8.11"E
92	R18	40°14'23.21"N	8°47'10.38"E
93	R20	40°14'17.81"N	8°48'14.03"E
94	R22	40°14'23.01"N	8°49'23.08"E
95	R24	40°14'23.11"N	8°50'25.73"E
96	R26	40°14'21.43"N	8°51'23.75"E
97	R28	40°14'23.58"N	8°52'28.08"E



n.	codice punto	coordinate	
1	A17	40°21'15.12"N	8°46'36.29"E
98	S7	40°13'57.38"N	8°41'22.33"E
99	S9	40°13'59.66"N	8°42'27.19"E
100	S11	40°13'56.92"N	8°43'25.27"E
101	S13	40°13'56.06"N	8°44'30.23"E
102	S15	40°13'57.44"N	8°45'37.25"E
103	S17	40°14'1.26"N	8°46'46.06"E
104	S19	40°13'59.16"N	8°47'43.86"E
105	S21	40°13'59.31"N	8°48'45.40"E
106	S23	40°14'0.84"N	8°49'50.23"E
107	S25	40°14'0.91"N	8°50'55.69"E
108	S27	40°13'57.66"N	8°51'57.36"E
109	S29	40°13'57.31"N	8°53'2.32"E
110	T8	40°13'30.62"N	8°41'55.75"E
111	T10	40°13'33.17"N	8°42'57.86"E
112	T12	40°13'34.46"N	8°44'2.30"E
113	T14	40°13'34.53"N	8°45'6.07"E
114-a	T16-a	40°13'34.53"N	8°46'4.88"E
114-b	T16-b	40°13'34.89"N	8°46'6.70"E
115	T18	40°13'32.55"N	8°47'9.53"E
116	T20	40°13'33.05"N	8°48'15.76"E
117-a	T22-a	40°13'32.03"N	8°49'23.68"E
117-b	T22-b	40°13'35.23"N	8°49'17.33"E
118	T24	40°13'33.58"N	8°50'24.66"E
119	T26	40°13'36.57"N	8°51'24.48"E
120	T28	40°13'34.83"N	8°52'29.10"E
121	U7	40°13'6.44"N	8°41'27.39"E
122	U9	40°13'8.44"N	8°42'25.93"E
123	U11	40°13'9.31"N	8°43'29.56"E
124	U13	40°13'10.59"N	8°44'31.16"E
125	U15	40°13'10.97"N	8°45'41.27"E
126	U17	40°13'10.92"N	8°46'38.64"E
127	U19	40°13'9.33"N	8°47'39.15"E
128	U21	40°13'11.63"N	8°48'52.45"E
129	U23	40°13'7.43"N	8°49'54.84"E
130	U25	40°13'7.19"N	8°50'51.33"E
131	U27	40°13'8.05"N	8°52'3.34"E
132	V5	40°12'44.76"N	8°40'10.49"E



n.	codice punto	coordinate	
1	A17	40°21'15.12"N	8°46'36.29"E
133	V8	40°12'43.91"N	8°41'55.92"E
134	V10	40°12'43.87"N	8°42'57.18"E
135	V12	40°12'45.22"N	8°44'0.46"E
136	V14	40°12'41.43"N	8°45'3.71"E
137	V16	40°12'43.45"N	8°46'5.24"E
138	V18	40°12'46.38"N	8°47'12.67"E
139	V20	40°12'46.58"N	8°48'15.85"E
140	V29	40°12'39.51"N	8°53'14.55"E
141	W2	40°12'14.46"N	8°38'53.64"E
142	W9	40°12'19.52"N	8°42'33.04"E
143	W11	40°12'17.91"N	8°43'32.35"E
144	W15	40°12'21.24"N	8°45'35.26"E
145	W17	40°12'16.23"N	8°46'40.49"E
146	W19	40°12'20.59"N	8°47'45.47"E
147	W21	40°12'22.59"N	8°48'47.78"E
148	W23	40°12'25.72"N	8°49'38.66"E
149	W32	40°12'17.29"N	8°54'24.81"E
150	X9	40°11'45.09"N	8°42'38.01"E
151	X14	40°11'45.01"N	8°45'5.24"E
152	X16	40°11'57.62"N	8°46'4.66"E
153	X18	40°11'57.07"N	8°47'14.96"E
154	X25	40°11'43.26"N	8°50'39.93"E
155	Y17	40°11'28.24"N	8°46'45.02"E
156	Y19	40°11'33.06"N	8°47'43.42"E
157	Y21	40°11'33.69"N	8°48'49.39"E
158-a	Z8-a	40°10'57.74"N	8°41'38.41"E
158-b	Z8-b	40°10'57.14"N	8°41'43.41"E
159	Z28	40°10'55.42"N	8°51'36.91"E
160	A*13	40°10'48.58"N	8°44'32.36"E
161	A*21	40°10'49.44"N	8°48'46.17"E
162	B*6	40°10'11.89"N	8°40'43.11"E
163	B*17	40°10'27.68"N	8°46'39.60"E
164	B*28	40°10'11.84"N	8°52'39.36"E
165	C*12	40° 9'46.25"N	8°43'58.58"E
166	C*22	40° 9'46.97"N	8°49'22.49"E
167	D*17	40° 9'22.79"N	8°46'43.53"E
168	F*11	40° 8'47.04"N	8°43'25.04"E



CIM - Conorzio per la Zona Industriale di Macomer in liquidazione

Sede: località Tossilo, 08015 Macomer (NU)

C.F. e P.IVA 00153150917

tel: 078571675 – 078570597 – fax: 078572125 e-

mail: info@consorzioindustrialemacomer.it

sito internet: www.consorzioindustrialemacomer.it

<i>n.</i>	<i>codice punto</i>	<i>coordinate</i>	
1	A17	40°21'15.12"N	8°46'36.29"E
169	F*23	40° 8'47.50"N	8°49'55.53"E
170	G*17	40° 8'18.41"N	8°46'43.65"E



CIM - Consorzio per la Zona Industriale di Macomer in liquidazione

Sede: località Tossilo, 08015 Macomer (NU)

C.F. e P.IVA 00153150917

tel: 078571675 – 078570597 – fax: 078572125 e-

mail: info@consorzioindustrialemacomer.it

sito internet: www.consorzioindustrialemacomer.it



CIM - Consorzio per la Zona Industriale di Macomer in liquidazione

Sede: località Tossilo, 08015 Macomer (NU)

C.F. e P.IVA 00153150917

tel: 078571675 – 078570597 – fax: 078572125 e-

mail: info@consorzioindustrialemacomer.it

sito internet: www.consorzioindustrialemacomer.it

**PIANO DI BIOMONITORAGGIO DELLE EMISSIONI GASSOSE
A MEZZO DI LICHENI EPIFITI E/O ALTRI NELL'AREA INDUSTRIALE di TOSSILO – MACOMER**

Allegato C - SCHEDA DESCRITTIVA PUNTO LICHENICO

punto foglio 1

latitudine

longitudine

annotazioni



DATI ANALITICI DEI CAMPIONI

punto _____ foglio 2

Data	Data	Data	Data	Data	Data
Al	Al	Al	Al	Al	Al
As	As	As	As	As	As
Ba	Ba	Ba	Ba	Ba	Ba
Be	Be	Be	Be	Be	Be
Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca
Cd	Cd	Cd	Cd	Cd	Cd
Co	Co	Co	Co	Co	Co
Cr	Cr	Cr	Cr	Cr	Cr
Cs	Cs	Cs	Cs	Cs	Cs
Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe
K	K	K	K	K	K
Hg	Hg	Hg	Hg	Hg	Hg
Li	Li	Li	Li	Li	Li
Ni	Ni	Ni	Ni	Ni	Ni
Na	Na	Na	Na	Na	Na
Pb	Pb	Pb	Pb	Pb	Pb
S	S	S	S	S	S
Se	Se	Se	Se	Se	Se
Sn	Sn	Sn	Sn	Sn	Sn
Ti	Ti	Ti	Ti	Ti	Ti
U	U	U	U	U	U
V	V	V	V	V	V
Zn	Zn	Zn	Zn	Zn	Zn
Zr	Zr	Zr	Zr	Zr	Zr