

SOCIETÀ NAZIONALE DI SCIENZE LETTERE E ARTI IN NAPOLI

RENDICONTO
DELL'ACCADEMIA DELLE SCIENZE
FISICHE E MATEMATICHE

SERIE IV - VOL. LXXIX - ANNO CXLXI

(2012)



LIGUORI EDITORE

Comitato di Redazione
del Rendiconto dell'Accademia delle Scienze Fisiche e Matematiche

Scienze Biologiche: V. Balzani, H. Bern, G. Bernardi, E. Boncinelli, G. Caputo, G. Chieffi, G. D'Alessio, J.M. Denucé, M. de Vincentiis, A. Di Donato, G. Geraci, A. Giuditta, C. Polito, R.K. Rastogi, C. Rigano, A. Virzo De Santo

Scienze Chimiche: A. Ballio, G. Barone, C. Colella, E. Fattorusso, L. Mangoni, G. Marrucci, L. Mayol, L. Mazzarella, L. Nicolais, A. Panunzi, C. Pedone, O. Schettino, R. Sersale, A. Zambelli

Scienze Fisiche: M. Capaccioli, A. Coniglio, G. Franceschetti, G. Marmo, L. Merola, B. Preziosi, L. Radicati di Brozolo, M. Rigutti, G. Scarpetta, G. Sedmak, V. Silvestrini, S. Solimeno, G. Tamman

Scienze Geomineralogiche: A.W. Bally, L. Brancaccio, R. Catalano, V. Cotecchia, B. D'Argenio, P. De Castro, G. Luongo, A. Mottana, A. Rapolla, R. Shroeder, L. Simone

Scienze Matematiche: A. Alvino, A. Avantiaggiati, A. Basile, S. Buoncrisiano, A. Canfora, L. Carbone, Ciro Ciliberto, E. Cosenza, V. Còti Zelati, M. Curzio, F. De Giovanni, A. de Luca, P. de Lucia, P. Fergola, V. Ferone, R. Fiorenza, N. Fusco, R. Grassini, T. Iwaniec, P.L. Lions, F. Mazzocca, A. Murli, P. Renno, S. Rionero, A. Romano, G. Romano, T. Ruggeri, R. Russo, L. Salvadori, C. Sbordone, B. Straughan, M. Troisi, G. Trombetti, G. Zappa, A. Zitarosa, J.D.M. Wright

- La pubblicazione è stata resa possibile dai contributi
- della Regione Campania
 - della Fondazione Banco di Napoli
 - del Dipartimento di Matematica e Applicazioni dell'Università di Napoli "Federico II"
 - del Ministero dell'Istruzione, Università e Ricerca
 - del Ministero per i Beni Culturali
 - dell'associazione "Amici della Società Nazionale di Scienze Lettere e Arti in Napoli"

N. 79 - Dicembre 2012

ISSN 0370-3568

Nessuna parte di questa pubblicazione può essere tradotta, riprodotta, copiata o trasmessa senza l'autorizzazione scritta dell'Editore. Il regolamento per l'uso dei contenuti e dei servizi forniti dalla Casa Editrice Liguori disponibile al seguente indirizzo internet:

http://www.liguori.it/politiche_contatti/default.asp?c=legal

Fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascuna pubblicazione. Le riproduzioni ad uso differente da quello personale potranno avvenire, per un numero di pagine non superiore al 15% per pubblicazione, solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata da AIDRO, via delle Erbe, n. 2, 20121 Milano, telefax 02 809506, e-mail_segreteria@aidro.org

Direttore responsabile: Carlo Sbordone

© 2012 by Accademia delle Scienze Fisiche e Matematiche

Tutti i diritti sono riservati

Prima edizione italiana Dicembre 2012

Finito di stampare in Italia nel mese di Dicembre 2012 da Liguori Editore - Napoli

Autorizzazione del Tribunale di Napoli n. 780 del 14/08/1954

ISBN-13 978 - 88 - 207 - 6105 - 9

La carta utilizzata per la stampa di questo volume è inalterabile, priva di acidi, a pH neutro, conforme alle norme UNI EN Iso 9706 α , realizzata con materie prime fibrose vergini provenienti da piantagioni rinnovabili e prodotti ausiliari assolutamente naturali, non inquinanti e totalmente biodegradabili.

INDICE

R. Sersale – <i>La scoria di acciaieria come materiale cementante supplementare.</i>	pag.	1
G. Barone – <i>Estrazione di gas mediante fratturazione idraulica delle rocce scistose: prospettive di sviluppo e pericoli ambientali.</i>	»	5
G. Barone – <i>Inquinamento atmosferico: il Progetto Regionale sulla Qualità dell'Aria in Campania e il contributo della Modellistica Numerica.</i>	»	11
R. Sersale – <i>Modificazioni dei prodotti d'idratazione del cemento Portland in presenza di materiali cementizi supplementari.</i>	»	19
L. Mazzarella – <i>Alfonso Maria Liquori ed il suo ruolo nel risveglio scientifico napoletano nei primi anni '60 del secolo scorso.</i>	»	25
R. Sersale – <i>Prodotti cementizi supplementari e loro meccanismo d'azione sul controllo della reazione alcali-silice.</i>	»	47
R. Sersale – <i>Leganti potenzialmente sostitutivi del cemento Portland. Recenti progressi e previsioni.</i>	»	55
R. Sersale – <i>Cementi magnesiaci.</i>	»	63
A. Mazzarella, R. Di Cristo, R. Viola – <i>L'Osservatore Meteorologico di San Marcellino - Napoli Centro: i dati dell'anno 2012</i>	»	69

LA SCORIA DI ACCIAIERIA COME MATERIALE CEMENTANTE SUPPLEMENTARE.

STEEL SLAG AS A SUPPLEMENTARY CEMENTITIOUS MATERIAL.

Nota del socio RICCARDO SERSALE

(Adunanza del di 13 Gemaio 2012)

Riassunto. La Nota riferisce sulle prove di laboratorio espletate per cercare di rendere anche la scoria di acciaieria da convertitore basico ad ossigeno un materiale cementante supplementare, in vista della sua crescente produzione.

Poiché la sua composizione reca fasi che si rinvencono anche nel clinker di cemento Portland, però lo scarso contenuto d'alite sviluppa resistenze meccaniche basse, è stato proposto di emendare tale scoria attraverso miscelazione, ad alta temperatura ed in appropriato rapporto, con scoria da forno elettrico ad arco.

Vengono descritte le modalità operative dell'emendamento, rivolte a migliorare la cinetica d'idratazione della scoria d'acciaieria e rilevate le caratteristiche composizionali e microstrutturali della scoria emendata, il suo comportamento meccanico e si approfondiscono le ragioni del valido risultato.

Parole chiave: Scoria di acciaieria. Materiale cementante supplementare.

Summary. Experimental tests in order to use basic oxygen furnace slag, too, as a supplementary cementitious material, in view of the increasing production, are reported.

Since its composition includes phases present in Portland cement clinker, too, but low alite content yields poor mechanical strengths, a modification has been suggested, adding electric arc furnace steel slag in appropriate ratio and at elevated temperature.

Operating ways for the modification turned to improve hydration kinetics of basic oxygen furnace steel slag, are described and mineralogical and structural characteristics of the modified steel slag, its mechanical behavior, together with the reasons of the valid result, reported.

Key words: Steel slag. Cementitious supplementary material.

La scoria d'acciaieria costituisce un sottoprodotto del processo di conversione della ghisa in acciaio in un convertitore ad ossigeno, nonché del processo di fusione di residui idonei alla produzione di acciaio in un forno elettrico ad arco. L'ammontare di scoria d'acciaieria cresce in continuo.

Nel 2002 ha raggiunto nel mondo circa 50 milioni di tonnellate (1), ma oggi, soltanto in Cina vengono prodotte circa 80 milioni di tonnellate (2).

La composizione chimica varia considerevolmente in funzione delle materie prime che la originano e dei processi produttivi, ma generalmente il contenuto di CaO risulta compreso fra 45-60%, SiO₂ fra 10-15%, Al₂O₃ fra 1-5%, Fe₂O₃ fra 3-9%, FeO fra 7-20 %, l'MgO fra 7-20 % in peso (3).

La presenza di alite, belite, aluminoferrite tetracalcica, ferrite bicalcica, rende la scoria d'acciaieria potenzialmente impiegabile come materiale cementante, ma, per effetto del basso contenuto d'alite, la resistenza meccanica risulta più bassa di quella manifestata dal cemento Portland ordinario.

Cementi composti, preparati per rimpiazzo di un'aliquota di clinker di Portland con scoria d'acciaieria, denunciano infatti, di norma, tempi di presa più lunghi e resistenza meccanica a breve termine più bassa. Talvolta mostrano anche una espansione volumetrica maggiore, per effetto dell'alto contenuto di calce libera cotta a morte.

Pertanto la scoria d'acciaieria, da lungo tempo studiata per impieghi nell'industria cementiera (4), non ancora ha trovato applicazione come componente di calcestruzzi. In Europa è stata però ben

caratterizzata e si dispone oggi di una lunga esperienza della sua utilizzazione come aggregato per la costruzione di strade (5).

In Cina invece soltanto il 10% della scoria d'acciaieria viene correttamente reimpiegata, mentre grossi volumi vengono ammassati sui terreni, con il pericolo di una possibile emissione di elementi contaminanti, operata dal dilavamento da parte di acque freatiche (6).

Molti tentativi sono anche stati fatti per attivare, con metodi meccanici, termici e chimici, la scoria d'acciaieria e cercare di migliorare la sua attitudine all'impiego nell'industria cementiera (7), ed è risultato che l'effetto ottenuto è notevolmente dipendente dalla composizione chimica e mineralogica della scoria.

Si è anche studiato il possibile miglioramento dell'attività idraulica della scoria da convertitore ad ossigeno, aggiungendo al prodotto fuso, nel corso della colata, alcune miscele minerali.

In questa linea si sviluppa una recente ricerca cinese che propone una modificazione della composizione della scoria da convertitore ad ossigeno mescolandola, in appropriato rapporto, con scoria da forno elettrico ad arco (2).

La scoria d'acciaieria da convertitore ad ossigeno (BOFS) e quella di scoria da forno elettrico ad arco (EAFS), impiegata quale aggiunta idonea ad accomodare la composizione della prima, provengono dalla Shaoguan Iron and Steel Company (Cina). La loro composizione chimica, insieme con quella del cemento Portland ordinario (OPC) è riportata in Tab.1.

Entrambe le scorie sono state essiccate, macinate e portate ad una finezza Blaine di 415 e 420 m^2/kg , rispettivamente. Il cemento Portland di riferimento è stato portato alla finezza Blaine di 346 m^2/kg . La Fig.1 riporta gli spettrogrammi delle scorie in Tab.1

Tab. 1 - Composizione di OPC, BOFS, EAFS (% in peso).

	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	Fe	MgO
BOFS	40,01	18,94	2,91	8,85	13,5	1,22	5,36
EAFS	53,31	22,97	2,08	-	1,07	-	7,79
OPC	63,42	21,16	4,90	5,18	-	-	1,37

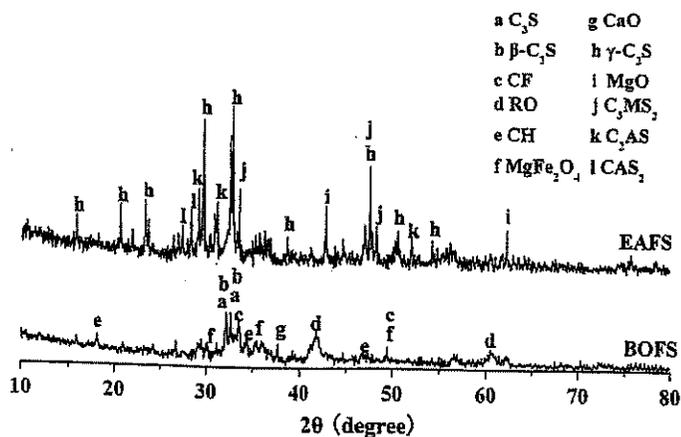


Fig. 1 - Spettrogrammi di BOFS e EAFS (2).

Risalta che la scoria di acciaieria da convertitore ad ossigeno (BOFS) è composta principalmente da alite, belite, ferrite di calcio, ossido di calcio ed una fase (RO): soluzione solida di MgO (periclasio) ed FeO (wustite).

La scoria di acciaieria da forno elettrico ad arco reca invece predominantemente gamma-C₂S, con periclasio, anortite, merwinite e gehlenite.

Nel diagramma ternario CaO-Al₂O₃-SiO₂, la scoria di acciaieria da convertitore ad ossigeno giace nel triangolo C₂S-C₃A-C₁₂A₇, mentre quella da forno, ad arco nel triangolo C₃S-C₂S-C₃A.

Per addizione del 10-20% in peso di scoria da forno elettrico ad arco alla scoria da convertitore ad ossigeno, la composizione chimica della scoria modificata (MSS) si sposta nel triangolo C₃S-C₂S-C₃A, zona nella quale giace anche la composizione del clinker di Portland.

Da tale composizione, per appropriato riscaldamento, è pertanto possibile formare le fasi del clinker di Portland, quali: alite, belite, alluminato ed alluminoferrite di calcio.

A questo fine, la miscela BOFS-EAFS è stata cotta per 30 minuti intorno a 1250°C ed i provini, scaricati dal forno di cottura, sono stati rapidamente raffreddati a temperatura ambiente e caratterizzati mediante diffrazione dei raggi X, microscopia ottica ed elettronica a scansione.

Si è posto in luce che la scoria modificata (MSS) reca principalmente C₃S, C₂S, C₂F, C₆AF₂, C₂AS, magnetite e ferrite di magnesio.

La fase principale della scoria da forno elettrico ad arco, la gamma-C₂S, può esser trasformata in beta-C₂S, incorporando ioni, quali: Fe, Mg ed Al ad alta temperatura e stabilizzata per raffreddamento rapido (8). Inoltre, beta-C₂S si può combinare con CaO e formare alite (C₃S).

Con la modificazione il contenuto di alite può aumentare da 7,3 a 12,7% e quello di belite diminuire del 2-5%.

L'addizione di scoria da forno elettrico ad arco a quella da convertitore ad ossigeno aumenta il quantitativo di ossido di calcio ed accresce anche quello di silice. La stessa addizione genera però un netto aumento del rapporto molare calce/silice (da 2.26 a 2.31) che porterebbe ad un incremento del rapporto alite/belite.

Molto basso deve poi risultare il quantitativo di C₃A della scoria modificata, poiché negli spettri di diffrazione dei raggi X non compaiono i caratteristici picchi. Attribuibile alla combinazione delle fasi alluminato e ferrite di calcio, ad alta temperatura, è poi la formazione di C₆AF₂ nella scoria modificata.

Nella miscela scoria da convertitore ad ossigeno/ scoria da forno elettrico ad arco un'aliquota di ossido di ferro si combina con quello di calcio e, se riscaldato in aria, forma C₂F. In pari tempo, altre fasi ricche di ferro, inclusa la fase RO, tendono a formare magnetite e ferrite di magnesio (MgO·F₂O₃).

L'osservazione ottica ha posto in luce che nella scoria d'acciaieria modificata, calcinata a 1250°C, i cristalli di alite si presentano in forma angolare o rettangolare, mentre quelli di belite, in forma arrotondata od ellittica, mostrando entrambi forme più regolari di quelle della scoria da convertitore ad ossigeno.

Dopo modificazione, la dimensione media dei cristalli di alite si aggira intorno a 20-25 μm, con un aumento del 10-15%.

La microscopia elettronica a scansione della scoria da convertitore ad ossigeno e della scoria modificata, ha posto in luce che, a modificazione avvenuta, la fase RO si trasforma in ferrite di magnesio (MgO·Fe₂O₃) con un probabile aumento di ioni ferro, magnesio ed alluminio incorporati nell'alite (9).

Con riferimento al profilo meccanico, è stato rilevato che la resistenza a compressione di malte di cemento che recano 30% in peso di scoria macinata d'acciaieria, quale rimpiazzo di clinker di Portland, supera quella della scoria da convertitore ad ossigeno ad ogni stagionatura. In più, la resistenza a compressione di malte che incorporano 85% in peso di scoria da convertitore ad ossigeno e 15% di scoria da forno elettrico ad arco, calcinate a temperatura di 1250 e 1350 °C, rispettivamente, hanno raggiunto 49,2 e 48,7 MPa a 28 giorni. Tali valori risultano superiori del 21

e del 20% a quelli della scoria da convertitore ad ossigeno e maggiori di quelli del cemento Portland ordinario di riferimento.

E' noto che l'attività idraulica della scoria d'acciaieria dipende fortemente dal contenuto di alite e dalle dimensioni dei suoi cristalli (10). Con l'aumento del contenuto d'alite e con la riduzione delle dimensioni dei suoi cristalli, l'attività idraulica della scoria d'acciaieria modificata sicuramente migliora. Allo sviluppo della resistenza della scoria d'acciaieria modificata contribuisce pure C_6AF_2 , la fase cementante neoformata.

Conclusioni.

Miscelando ad alta temperatura scoria da acciaieria e scoria da forno elettrico ad arco, in appropriato rapporto, è possibile modificare composizione mineralogica, struttura e cinetica d'idratazione della prima ed ottenere una scoria d'acciaieria emendata, con migliorata attività idraulica. L'emendamento comporta un aumento del contenuto d'alite dal 7.3 al 12.7%, con contemporanea riduzione delle dimensioni dei suoi cristalli.

I campioni di scoria emendata hanno inoltre denunciato crescite calorimetriche assai più simili a quelle del cemento Portland ordinario, che a quelle della scoria da convertitore ad ossigeno, mostrando un secondo picco, attribuibile all'idratazione dell'alite.

Il miglioramento dell'attività idraulica della scoria emendata si può giustificare pertanto con un aumento del contenuto d'alite, con la formazione di cristalli di alite più minuti (10) e con generazione di C_6AF_2 , una fase ferrica cementante.

Bibliografia

1. Altun A., Yilmaz I. Study on steel furnace slags with MgO as additive in Portland cement. *Cement Concrete Res.*, 32,1247 (2002).
2. Li J., Yu Q., Wei J., Zhang T. Structural characteristics and hydration kinetics of modified steel slag. *Cement Concrete Res.*, 41, 324 (2011).
3. Wu X. Q., Zhu H., Hou X.K., Li H.S. Study on steel slag and fly ash composite Portland cement. *Cement Concrete Res.*, 29,1103 (1999).
4. Sersale R., Amicarelli V., Frigione G., Ubriaco P. A study of the utilization of an Italian steel slag. *Proc. 8th Intern. Congress Chem. Cement.* II,194. Rio de Janeiro (1986).
5. Motz H., Geiseler J. Products of steel slags an opportunity to save natural resources. *Waste Manage.* 21,285 (2001).
6. Zhu G.L. Development and current situation of steel and iron slags. *Metall. Environ. Prot.* 6, 26 (2009).
7. Shi C.J., Hu S.F. Cementitious properties of ladle slag fines under autoclave curing conditions. *Cement Concrete Res.* 33, 1851 (2003).
8. Sersale R., Mascolo G., Marchese B., Frigione G. Influence of polymorphism and stabilizing ions on the strength of alite. *Journ Amer. Ceram. Soc.* 56, 222 (1973).
9. Sersale R. Hydraulic behavior of Al, Fe, Mg-bearing alites. *VI Intern. Congress Chem. Cement.* Moscow (1974).
10. Sersale R., Mascolo G., Marchese B., Frigione G. Relazioni fra microstruttura e proprietà meccaniche delle aliti. *Il Cemento*, 69, 2, 85 (1972).

Estrazione di gas mediante fratturazione idraulica delle rocce scistose: prospettive di sviluppo e pericoli ambientali.

Nota del socio Guido Barone

(adunanza del di 2 marzo 2012)

Key Words: Hydraulic Fracking, Natural Gas, Ohio Recent Earthquakes.

Abstract.

During the year 2011 great attention was focused, especially in the United States, on the perspectives to obtain natural gas by means of the untraditional method of Hydraulic Fracking of the shale rocks. From 2001 to 2011 many economic efforts were spent by Companies for the exploitation of this new source of gas. However alarms and protests were often carried on by the local communities for the pollution of the drinking water aquifers. Moreover recently some earthquakes occurred in Ohio and in North West of England, probably due to this kind of process. The local authority in these cases stopped the gas extraction. The E.P.A. will publish a Report in 2012 to define the risks associated to this procedure, on the basis of geological nature of the interested territories.

1. Introduzione.

Si stanno aprendo grandi prospettive per l'estrazione del gas naturale dalle rocce scistose (shale rocks). Le riserve accertate di questo gas (prevalentemente metano) nei soli Stati Uniti ammonterebbero a 23.000 miliardi di metri cubi, contro riserve mondiali presunte di 200.000 miliardi di metri cubi. Queste quantità sono paragonabili a tutte le riserve di gas naturale tradizionale accertate. La richiesta continuamente in aumento di gas e prodotti petroliferi sta spingendo le Compagnie statunitensi e canadesi a sfruttare le riserve interne che si presentano competitive sul mercato, al riparo da eventi geopolitici (primavera araba, conflitto libico, tensioni nel Golfo Persico). E ciò malgrado si andasse ad intaccare quelle che sono riserve strategiche, preziose per future necessità della sicurezza nazionale. Il totale degli investimenti USA è passato da 700.000 \$ nel 2001 a oltre 4.5 milioni \$ nel 2010. L'intensità dello sfruttamento di questa risorsa negli USA e Canada e le relative esportazioni stanno portando ad una forte diminuzione dei prezzi sul mercato mondiale.

E' dei primi giorni del 2012 la notizia, riportata da diverse agenzie di stampa sull'allarme suscitato da alcuni terremoti di non lieve entità (2.8 – 4.0 della scala Richter) avvenuti nello Stato dell'Ohio, area non sismica. Altri terremoti di più lieve entità erano avvenuti anche in altri Stati degli Usa e in un'area nord occidentale dell'Inghilterra, in zone contigue a impianti di estrazione del gas dagli scisti mediante il metodo della "Fratturazione idraulica" (Hydraulic Fracking o Hydrofracking).

In effetti esistono diversi tipi di fonti di gas naturale:

- gas naturale presente da solo in rocce porose (classico sfruttamento mediante trivellazione di pozzi, favorita dalla pressione esistente nel giacimento; è il caso del metano della Val Padana o dell'alto Adriatico);
- gas naturale associato a giacimenti di petrolio (in volumi separati, sovrastanti gli strati dello stesso ed estraibili a parte):

- gas naturale disciolto nei giacimenti petroliferi (come nel golfo del Messico, dove è avvenuto il grave incidente della piattaforma della BP);
- metano negli idrati cristallini (presenti sotto il permafrost circumpolare e sotto i fondali oceanici; ne ho riferito in una conversazione all'Accademia il 3.12.2010);
- gas naturale presente in sabbie bituminose e soprattutto scisti (shale rocks).

Inoltre esistono emissioni di gas dalle miniere di carbone e dall'accumulo di residui organici che fermentano in assenza di aria (paludi, risaie, marcite dalla fusione del permafrost artico indotto dal riscaldamento globale, etc.).

A prescindere dalla origine biologica o termica del gas (questa ultima favorita dalle alte temperature e pressioni delle rocce cherogeniche profonde) si deve tener presente nel secondo caso che la frequente separazione tra i giacimenti di petrolio e di metano, avviene per la capacità del gas di migrare, anche per centinaia di km, attraverso pori di rocce sufficientemente sottili da provocarne la filtrazione selettiva e spontanea.

2. L'estrazione del petrolio dalle sabbie bituminose mediante la coltivazione dei giacimenti a cielo aperto.

In un recente passato (2009) lo sfruttamento per l'estrazione del petrolio da strati semisuperficiali di sedimenti scistosi sottostanti la coltre boscosa dei monti Appalachi aveva portato allo sventramento (decapsulamento), mediante esplosivi, delle cime e dei pendii per mettere allo scoperto i giacimenti e sfruttarli direttamente a cielo aperto con gli impianti di estrazione del petrolio dagli scisti mediante acqua calda, senza le spese di trivellazione. Ciò aveva suscitato forti proteste degli ambientalisti per il disastro ecologico causato anche dall'accumulo di rifiuti tossici sui terreni sottostanti e nell'alveo dei fiumi Susquehanna e Delaware. L'inquinamento si aggiunge a quello secolare causato dall'estrazione a cielo aperto di carbone dalle cime decapsulate, oggetto di simili proteste (note anche per l'arresto dello scienziato Jim Hansen, direttore del Goddard Institute della NASA. In tutti questi casi vi sono state immissioni in atmosfera, mai valutate, di metano e altri gas serra o inquinanti.

Analogamente, nell'Alberta canadese, lungo il fiume Athabaska, sono state distrutte intere praterie e boschi con l'intento di emungere olio greggio dal bitume e si sta costruendo un apposito oleodotto per trasportare direttamente l'olio greggio verso gli impianti di estrazione e raffinazione del lontano Texas, oppure verso le più vicine coste del Pacifico, traforando le Montagne Rocciose (*National Geographic edizione italiana luglio 2011*). Questi oleodotti hanno già dato prova di scarsa tenuta su percorsi più brevi (Rapporto del Congresso USA). Le osservazioni dai satelliti (sito della NASA) mostra come dal 1984 ad oggi, ma lo sfruttamento era cominciato nel 1967, la devastazione dello ambiente si sia estesa anno per anno, interessando altri siti e creando sempre più ampi bacini di decantazione delle acque calde usate per fondere il bitume ed estrarre l'olio e contenere gli scarti di lavorazione. Alcune fosse hanno raggiunto quasi i 100 m di profondità e stanno liberando nell'aria anidride solforosa, ossidi di azoto, idrocarburi volatili e polveri fini, oltre a CO₂. Solo da poco le autorità canadesi stanno ottenendo di far bonificare tali bacini.

3. La Fratturazione idraulica (Hydraulic Fracking).

Qui il processo di estrazione è più difficile che nei due casi precedenti perché i giacimenti sedimentari sono relativamente profondi, al di sotto delle falde acquifere, e racchiusi tra strati di rocce argillose impermeabili. E' quindi è indispensabile ricorrere a tecniche di trivellazione mediante pozzi, simili a quelli per l'estrazione del petrolio.

Il processo è illustrato nella Figura 1. L'estrazione viene effettuata ricorrendo inizialmente ad un pozzo verticale, ma che nella parte finale sotterranea si sviluppa orizzontalmente; lo "spillamento" (tapping) avviene attraverso la tecnica dell'"hydraulic fracking" (frantumazione idraulica) delle rocce scistose. La perforazione viene condotta per 1-3 km e man mano il pozzo viene incamicciato

con una tubazione di acciaio. Le pareti del pozzo sono consolidate e cementificate fino al di sotto del livello delle falde naturali, per evitare che il gas o i fluidi di trivellazione ed estrazione risalgano all'esterno della tubazione di acciaio o finiscano nella falda stessa inquinandola.

Una volta raggiunta la profondità del giacimento si fa compiere una svolta a gomito a 90° al pozzo di trivellazione e si prosegue ancora per alcune centinaia di metri continuando a incamiciarlo con la tubazione di acciaio. Quindi si inietta sotto forte pressione una sospensione di acqua e sabbia (per lo più silicea) contenente anche sostanze antiaggreganti, che servono a stabilizzarla, nonché battericidi e altri prodotti chimici (tra cui alcuni notoriamente cancerogeni, come il benzene). La parte terminale della camicia porta delle cariche che si fanno esplodere elettricamente, provocando sia dei fori nella tubazione che delle estese fratture, ramificate in tutte le direzioni, nelle fragili rocce circostanti. Le fratture e fenditure vengono mantenute pervie da grani di sabbia silicea opportunamente dimensionati. A volte, se la pressione di pompaggio è sufficientemente forte, bastano dei fori nella camicia di acciaio, senza bisogno di ricorrere a cariche esplosive.

Il gas compresso, fuoriuscente dalle fratture, entra controcorrente nel pozzo, risalendolo fino alla superficie, dove verrà incanalato verso gli impianti di stoccaggio e poi di raffinazione. Mentre continua il pompaggio forzato, l'acqua a sua volta risale e viene raccolta in ampi bacini aperti per far decantare i detriti e degassarsi parzialmente, quindi viene riutilizzata. Nella Figura 2 si vede la differenza tra l'estrazione tradizionale da una "cupola" di rocce porose, dove la pressione degli strati sovrastanti è sufficiente per la spontanea fuoriuscita del gas, e la situazione che si ha nel caso precedente.

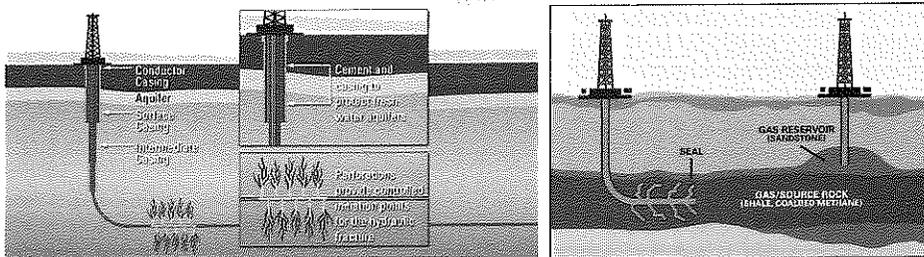


Figure 1 e 2. Tecnologia di estrazione di gas dagli scisti e da cupole di rocce contenenti gas libero.

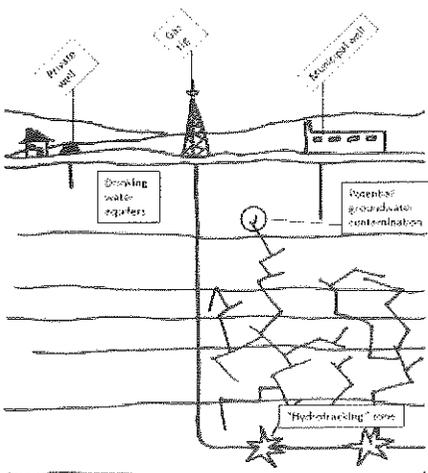


Figura 3 Rischio di intrusione delle fatturazioni nelle falde acquifere.

Finora le principali contestazioni avevano riguardato il pericolo di inquinamento delle falde superficiali, vuoi per fratture nelle pareti di cemento dei pozzi, vuoi per la cattiva impermeabilizzazione del fondo dei bacini di raccolta delle acque di risalita dai pozzi (in qualche caso hanno traboccato a causa di piogge torrenziali). In un recente passato vi sono state aspre polemiche con le popolazioni della Pennsylvania, del Texas, del Colorado e altri Stati federali. Nel caso del Wyoming l'Agenzia per la Protezione Ambientale (EPA) ha riscontrato la presenza di additivi chimici provenienti dal processo di fatturazione nella falda acquifera. Talvolta dai rubinetti domestici sono fuoriusciti gas infiammabili o fanghi maleodoranti. Le Autorità dello Stato di New York hanno quindi proibito l'estrazione, con questo metodo, nei bacini idrografici utilizzati per l'approvvigionamento idrico

delle grandi città, New York e Syracuse e hanno chiesto in generale di utilizzare solo serbatoi stagni per lo stoccaggio. Ciò potrebbe esser dovuto alla propagazione della rete di fratture fin nello strato argilloso che contiene in basso la falda di acqua potabile (Figura 3) o al cedimento della camicia di cemento che protegge la parte più superficiale della tubazione di acciaio.

Il metodo dell'Hydraulic Fracking comporta comunque un grande consumo di acqua: ogni pozzo nella sua vita estrattiva richiede da 7.5 a 15 milioni di litri di acqua, di cui il 75% risale nei bacini di raccolta e deve essere alla lunga depurata e smaltita, mentre il 25% rimane sottosuolo insieme alla sabbia. Inoltre vengono impiegati da 60 a 230 litri di agenti chimici (antiaggreganti, pesticidi etc.).



Adesso l'allarme arriva dall'Ohio, dove si sono avute numerose lievi scosse da marzo a novembre del 2011. Inoltre negli ultimi giorni del 2011 intorno alla cittadina di Youngstown si sono succeduti ben 11 terremoti, di cui gli ultimi due del grado 2.7 e 4 della scala Richter (Scientific American, ed. it. Le Scienze gennaio 2012).¹ Lo Stato dell'Ohio è costituito da una vasta pianura, in gran parte alluvionale e di fatto non sismica, compresa tra il grande fiume (da cui prende il nome) a Sud e ad Est, il Lago Erie a Nord e gli stati del Michigan, sempre al Nord, e dell'Indiana ad Ovest.

Associazioni di cittadini infuriati per le continue e inusuali scosse sismiche, hanno ottenuto dalle autorità dell'Ohio la chiusura provvisoria di alcuni impianti di trivellazione della Northstar Disposal Service attorno alla città di Youngstown. I danni sono stati notevoli alla rete stradale locale (Figura 4) e a molte abitazioni (lesioni delle pareti, caduta di mobili e suppellettili). Fenomeni più lievi si erano verificati anche in Arkansas.

Figura 4. La sorpresa di Capodanno nell'Ohio.
Foto di Martin Luff.

¹ La questione dei terremoti.

La Val Padana e il fondale dell'Adriatico, almeno fino ad Ancona, sono una grande valle sedimentaria. Al di sotto dell'Adriatico però vi è una placca rigida, la subplacca Adriatica appunto, che resiste ai movimenti verso Est-Nord Est dell'arco Appenninico, in particolare quello a Nord della grande faglia che taglia circa da Ancona a Civitavecchia. Questo scontro provoca dei terremoti non frequenti. Tutta la fenomenologia rientra nello scontro più ampio tra la placca Africana e quella Eurasiatica che interessa tutto il Mediterraneo. Per fortuna o di conseguenza, nel caso dei sismi che hanno interessato il Nord Italia da Parma a Verona, l'ipocentro(i) era abbastanza profondo (60 – 30 km), perciò, anche se il grado Richter era elevato, <4 per le scosse più forti, i danni in superficie sono stati limitati, più che altro dovuti alla "vibrazione" delle Val Padana: in realtà la scala Richter dà conto dell'energia liberata, contrariamente alla più anziana scala Mercalli, basata sui danni prodotti: fra le due non vi è una relazione di proporzionalità, proprio perché i danni possono dipendere dalla profondità dell'ipocentro e dalle geologie della zona interessata. Nel caso dell'Ohio i sismi hanno avuto un ipocentro molto più superficiale (3 – 5 km), per cui i danni in superficie sono stati notevoli, malgrado l'energia sia stata limitata (massimo 4 della scala Richter): danni evidenti alla rete stradale e danni alle abitazioni e i sismi si sono protratti per tutto il periodo del pompaggio di acqua e sabbia dopo le esplosioni iniziali.

Il blocco è momentaneo perché questa tecnologia di estrazione del gas è ritenuta regolare dai regolamenti federali. Una indagine sismica è stata condotta da ricercatori della Columbia University su incarico dell' Ohio Department of Natural Research. I ricercatori deducono che i movimenti potrebbero essere causati dallo slittamento delle rocce scistose lungo faglie alla stessa profondità del pozzo di fracking, ma distanti anche alcuni chilometri, causati non dal pompaggio sotto pressione o dalle esplosioni, bensì dall'azione lubrificante degli additivi alle interfacce di rocce adiacenti. Tali fenomeni potrebbero durare anche un altro anno. D'altra parte i portavoce scientifici delle Imprese interessate hanno messo fortemente in dubbio che esista una correlazione di causa ed effetto ed hanno fatto ricorso ai tribunali statali. Ad ogni modo l'Agenzia Federale per la protezione dell'ambiente (EPA) sta preparando un rapporto completo che però verrà pubblicato solo a fine 2012.

4. La situazione europea.

Anche nell'Inghilterra Nord occidentale presso Blackpool vi sono stati dei fenomeni sismici di lieve intensità (1.5 – 2.3 Richter), che sono stati collegati all'attività di estrazione di gas mediante fatturazione idraulica da parte della Compagnia Cuadrilla Resources. Anche qui le Autorità locali hanno imposto una pausa nel processo minerario.

Vista la rottura dei mercati creati dalle esportazioni di gas da parte degli Stati Uniti, nell'Unione Europea si sono cominciati ad attivare programmi di estrazione di questo tipo dai giacimenti scistosi o dalle sabbie bituminose del gas o anche del petrolio.

I giacimenti più consistenti e promettenti si trovano in Polonia (Silurian shales) e si stanno cominciando a sfruttare. Ma altre riserve sono nella Svezia meridionale, in Olanda e nelle aree marittime confinanti della Germania, a cavallo fra Austria, Slovacchia e Repubblica Ceca (Mikulov shales), in Francia, sia sulle aree marittime del Nord Est che nelle pianure pedemontane dei Pirenei. E infine in aree più o meno vaste dell'Ucraina, Romania, Ungheria e a cavallo della frontiera Bulgaro- Greca. Per ora si hanno scarse notizie dalla Russia, che è però poco interessata perché non vuole compromettere economicamente gli enormi flussi di gas siberiano che alimentano buona parte dell'Europa. Lo stesso si può dire in parte per gli Stati produttori di gas dal Mare del Nord.

Per l'Italia le Compagnie Italiane non si sono ancora attrezzate e i loro tecnici sono molto più impegnati per lo sfruttamento del gas e/o del petrolio in Texas, in Nigeria e in Libia. Per altro alcune aree sono promettenti (Monti Alburni, aree della Basilicata, Molise e Abruzzo e del Piemonte).

Comunque per l'Europa vi sono difficoltà sia per ottenere le autorizzazioni a effettuare sondaggi e trivellazioni, sia perché le Compagnie sono statali o a partecipazione statale ed è più difficile impegnare notevoli capitali di rischio. In generale la densità di popolazione europea è molto elevata rispetto agli Stati Uniti o al Canada, dove è più facile reperire aree adatte allo sfruttamento in zone poco popolate, anche se in Europa vi è il vantaggio dell'esistenza di una fitta rete di metanodotti, già predisposta.

5. La produzione del metano e l'effetto sulle variazioni climatiche.

I sostenitori del processo di Hydraulic fracking ritengono che, dal punto di vista ambientale, il processo ha un impatto ambientale minore rispetto all'emungimento di petrolio delle rocce scistose condotto in superficie, perché le perdite di gas sono molto più ridotte e i fluidi di risalita vengono raccolti in un bacino impermeabilizzato e riutilizzati in buona parte e non si riversano nei fiumi, né andrebbero a inquinare le falde superficiali interposte. Secondo i ricercatori della Cornell University durante le fasi della trivellazione e del successivo sfruttamento ben l'8% del metano andrebbe disperso nell'atmosfera, mentre le compagnie sostengono che le perdite ascenderebbero solo all'1.5%.

Il problema al solito è quale sia il mare minore: bruciare il metano, producendo CO₂, o lasciare che durante i processi di estrazione dagli scisti bituminosi, in particolare del petrolio nel caso dello sfruttamento a cielo aperto, il metano stesso si riversi tal quale nell'atmosfera? Si ricordi che il metano è circa 25 volte più efficace della CO₂ come effetto serra e come contributo al riscaldamento globale. Ma si tratta di un falso dilemma, perché anche nel secondo caso è l'azione dell'uomo a provocare il danno ambientale.

Bibliografia

1. G.Barone, E.Chianese: *"Hydrates of Natural Gases and Small Molecules: Structure, Properties and Exploitation Perspectives"*, ChemSusChem (2009).
2. J. Hansen: *"Tempeste – Il clima che lasciamo ai nostri nipoti, l'urgenza di agire"*; Edizioni Ambiente (2010).
3. AA.VV.: *"Worldwide Gas Shales and Unconventional Gas: a Status Report"* Advanced Resource International J. (2011).
4. R.Howarth, A.Ingraffea, R.Santoro: *"Preliminary Assessment of the Greenhouse Gas Emission Obtained by Hydraulic Fracturing"*, a Cornell University Report (2011).
5. *"Un oleodotto in Paradiso"*, National Geographic edizione italiana (agosto 2011).
6. G.Barone, E.Chianese, A.Riccio: *"The Role of Methane Emissions on Ancient and Present Climatic Changes"* in Planet Earth 2011 – Global Warming Challenges and Opportunities for Policy and Practice, Cap 26, E.G.Carayannis Ed., INTECH ed. (settembre 2011).
- 7 G.Barone: *"Terremoti nell'Ohio provocati dall'Hydraulic Fracking ?"* pubblicazione on line per il blog Climalteranti proposto il 12 gennaio 2012.
8. C.Mooney: *"La verità sulla fatturazione idraulica"* Le Scienze edizione italiana di Scientific American (gennaio 2012).

Si ringraziano Sylvie Coyaud ("Oca Sapiens" – repubblica.it), altri corrispondenti del Forum Climalteranti e Maria Gismondi della radio-televisione SBS (trasmissioni in lingua italiana per l'Australia) per le discussioni e le richieste di chiarimenti seguenti la messa in rete della Ref. 7.

Inquinamento atmosferico: il Progetto Regionale sulla Qualità dell'Aria in Campania e il contributo della Modellistica Numerica.

Nota del socio Guido Barone
(adunanza del di 13 aprile 2012)
guido.barone@umina.it

Abstract

Recently, a project concerning air pollution modelling activities, approved by the Campania Regional Board was accomplished (2011). The project, presented on march 2006, was formally accepted on 30 July 2009 and started on November 20th, 2009 [1]. It has been developed by a joint enterprise between the Department of Chemistry and the ITM Company. The project, based on previous works [2-5], uses a parallel processor system (16-32 units), on which is implemented a "complete" air quality modelling system. This will reproduce historic pollution episodes and will built realistic scenarios for the Campania Region. The global circulation data and iterative nesting procedures are used for defining the meteo contour conditions at the Region boundaries. A three-dimensional grid (15.000 cells, each formed by 9 x 9 squared km of base and 6-7 layers of increasing altitude, (from 20 to 1500 m) is over imposed on a schematic map of the territory.

The realistic meteorological data were produced daily from "Meteo Fields GFS" from U.S. N-CAR and adapted at the Orography and territorial data from NCEP and compared also with the regional Meteo Service: finally they were managed by means of the WRF Meteo Processor using the corresponding certified program giving wind fields description at several altitudes. The emissions have been obtained by the EMEP – ISPRA sources and both the resulting numerical files were introduced into the Air Quality CHIMERE dispersion-reaction program for producing the local pollutant concentrations at a defined altitude. Nesting procedures were used to obtain more detailed description (3 x 3 square km) for interesting sites. The simulations were carried out for periods of 5 - 7 days in different climate conditions along the years 2010 – 2011 and compared with the data from the Regional Network of automatic station.

Key Words: Air Quality, Chemical Pollutants, Particulate Matter.

Introduzione: Gli Inquinanti Atmosferici e il loro controllo.

L'allarme provocato dal crescente inquinamento dell'aria principalmente urbana, dovuto alle attività industriale, al riscaldamento e al traffico, ha spinto in tutti i paesi a formulare delle legislazioni di controllo che obblighino le Autorità locali a monitorare periodicamente la qualità dell'aria e a prendere provvedimenti per limitare le emissioni nocive.

Le raccomandazioni dell'Unione Europea, recepite dalla legislazione italiana riguardano le 5 sostanze chimiche più pericolose per la salute umana nonché le polveri sottili e il rumore; esse sono raccolte nella Tabella 1:

Tabella 1 - Standard italiani di riferimento per la qualità dell'aria

Inquinante	Media su	Valore	Norm. Riferim.
PM ₁₀ μg / m ³	1 Anno 24 ore	40 50	DM 60/2002
SO ₂ μg / m ³	1 ora 24 ore	350 125	DM 60/2002
NO ₂ μg / m ³	1 Anno 1 ora	50 250	DM 60/2002
Benzene μg / m ³	1 Anno	10 → 5 (al 2010)	DM 60/2002
CO mg / m ³	8 ore	10	DM 60/2002
O ₃ μg / m ³	1 ora	180 (attenzione) 240 (allarme)	Dir. 92/72/CEE
Rumore dB	1 ora	70 (diurno) 70 (notturno)	DPCM 14/11/97

Le fonti dei principali inquinanti atmosferici:

SO₂: dalla combustione di combustibili fossili di cattiva qualità (carbone, nafta), contenuti zolfo, o da rifiuti.

NO₂: da qualsiasi processo di combustione condotto con aria in eccesso, specie ad alta temperatura. Il processo semplificato è schematizzato qui appresso:

- $N_2 + O_2 \rightarrow 2NO$; $2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$ con resa del 5-10% in NO₂.
- La miscela di NO, NO₂ e altri ossidi di azoto è indicata come NO_x e può avere origini naturali (fulmini, emissioni vulcaniche).

O₃: è un prodotto secondario; si forma da NO₂ per azione dei raggi U.V. solari:

- $NO_2 + U.V. \rightarrow NO + O$; $O + O_2 \rightarrow O_3$ (favorita da reazioni parassite promosse da specifici precursori).
- I due processi precedenti, in presenza di umidità elevata, provocano il fenomeno dello smog fotochimico.
- Può essere prodotto da fulmini, da grandi incendi spontanei, persino intrusioni dalla stratosfera.

Benzene come altri **VOC (Volatile Organic Compounds)** proviene da residui incombusti e dalla evaporazione di benzine e solventi organici.

Particolato (oggi distinto in PM₁₀ e PM_{2.5} a seconda delle dimensioni) deriva da processi di combustione, da lavori stradali e minerari, da emissioni di ceneri vulcaniche, da tempeste di sabbia, dall'erosione del suolo, da aerosol marini contenenti sali, da emissioni vegetali (pollini, spore).

Altri Inquinanti emessi da fonti naturali:

NH₃, SH₂, CH₄, altri **VOC**: dalla decomposizione di sostanze organiche vegetali e da microrganismi.

HCl e SO₂ da emissioni vulcaniche.

I metodi analitici di misura

Si ricorre a tecnologie basate sul campionamento ed analisi in laboratorio o sulla raccolta automatica dei campioni. Consentono di registrare i dati di concentrazione, anche in continuo, per poter fare analisi statistiche. Sono particolarmente adatti per il monitoraggio di siti soggetti a problemi di inquinamento spinto e per il monitoraggio indoor in edifici [1]. Di essi fanno parte anche le strumentazioni che consentono il monitoraggio mediante Remote sensing (Lidar, Dial, DOAS).

Non consentono però un'analisi *a priori* della qualità dell'aria.

Le Reti territoriali di monitoraggio

Lo studio dei problemi di inquinamento atmosferico è notevolmente complicato, in particolare perché l'aria è una miscela complessa di gas, liquidi e solidi, la cui composizione non è sempre facilmente determinabile perché avvengono un gran numero di reazioni che ne modificano la composizione. I problemi:

- Estrema variabilità spazio-temporale dei parametri atmosferici. La meteorologia non è prevedibile al di là di 72 ore: non vi sono regole meteo, statistiche o periodiche, cui rifarsi al di là di generici suggerimenti stagionali.
- Di conseguenza misure puntuali e limitate a poche ore sono poco utili, se non inquadrare in un più ampio contesto di conoscenze sulla Qualità dell'Aria regionale e sulla sua evoluzione temporale.
- Da ciò la necessità di una rete di stazioni fisse di misura multi-parametriche e automatiche *on line* a scala regionale e a gestione centralizzata (in Campania è gestita dalla ARPAC).
- Provvedimenti di limitazione del traffico (ticket di accesso alle ztl, auto non ecologiche), variazione nel tessuto urbano, nuovi quartieri, possono rendere obsoleta la distribuzione sul territorio delle stazioni fisse.

Le metodiche analitiche in definitiva si prestano solo alla raccolta di dati localizzati nel tempo e possono essere utilizzate come base per formulare politiche di *governance* del territorio. Esse non consentono però di arrivare né ad una reale comprensione dei fenomeni in corso, né a prevedere gli eventi di inquinamento da nuovi insediamenti o da variazioni nel quadro energetico, dei trasporti o dovuti a nuove normative.

Per tali motivi si raccomanda di ricorrere anche all'approccio modellistico, basato su metodi di calcolo numerico avanzati. Questi consentono di studiare le caratteristiche degli eventi di inquinamento di una determinata area allo scopo di comprenderne le caratteristiche e di poter prevedere, disponendo delle opportune informazioni, eventuali situazioni di pericolo. Inoltre, come è capitato nel corso del 2011 la rete di Centraline Regionali fisse gestite dall'ARPAC è in gran parte collassata, per mancanza di manutenzione, e lo sviluppo di metodi modellistica ci ha consentito di continuare ad avere la comprensione dei fenomeni di inquinamento.

“Il Sistema informatico di supporto per la valutazione dell'impatto preventivo sulla qualità dell'aria regionale da parte di nuovi insediamenti produttivi o di servizio” (approvato nell'ambito del P.O.R. 2000/2006).

Nel marzo 2006 il Progetto ITM474529 è stato presentato dal Dipartimento di Chimica e dall'Azienda ITM (Informatica Telematica Meridionale) alla Regione Campania, nell'ambito del P.O.R 2000/2006 - Misura 3.17 per la concessione degli aiuti alle PMI [2].

Il Progetto è stato approvato definitivamente il 30 luglio del 2009 (!). Partito il 20.11.2009, previa costituzione di una ATS, si è concluso il 18.08.2011.

Con il Coordinamento Scientifico del Prof. G.Barone, sono stati coinvolti i Dr. I.Duro, D.Mastrangelo e L.Varriale (borsisti del Dipartimento di Chimica) e il personale e i consulenti ITM;

preziosi i consigli del Prof. A. Riccio (Univ Parthenope), Responsabile del Progetto per il Dip. di Chimica il Direttore Prof. Claudio De Rosa.

L'idea è stata quella di costruire una griglia tridimensionale, limitata per esempio al territorio regionale, in ciascun nodo della quale analizzare i processi chimico-fisici e fisici che vi avvengono. Questa griglia richiede la definizione delle condizioni meteo-diffusive al contorno, processo che si ottiene per successivi nesting partendo dalle condizioni di un'atmosfera sovrastante un territorio più ampio: ad esempio l'area europea e quindi quella italiana.

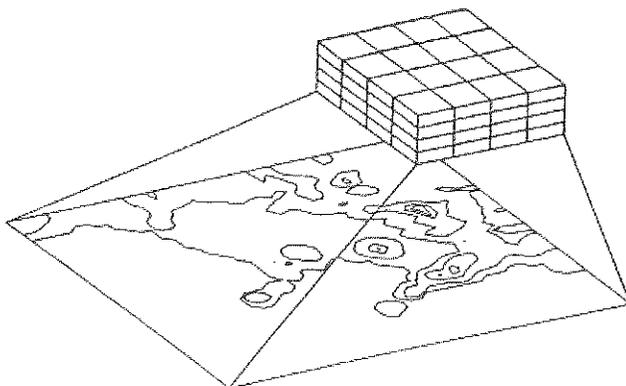


Figura 1 – Esempio di griglia tridimensionale applicata alla regione Campania.

Occorre calcolare nel tempo, in ciascun nodo della griglia (circa 15.000) le seguenti equazioni di continuità relative alle concentrazioni di circa 50 inquinanti, che danno vita a oltre 150 reazioni chimiche e fotochimiche, nonché ad altri processi che definiscono il bilancio istantaneo del sistema):

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = -\nabla_u C_i + \nabla(K \cdot \nabla C_i) + C_i(C_1, C_2, C_3, \dots, C_n, T, p) + S_i(x, y, t) + Q_i(x, y, t)$$

I primi due termini a destra si riferiscono al trasporto diffusivo (avvezione) e turbolento, gli altri tre rispettivamente alla reattività, alla emissione e alla deposizione secca dell'inquinante, x e y sono le coordinate del punto di emissione e ricaduta rispettivamente. K è un fattore che definisce la turbolenza. Dato il gran numero dei parametri e le loro variazioni nel tempo e quindi la enorme massa di dati da trattare, è indispensabile ricorrere alla soluzione numerica dei corrispondenti sistemi di equazioni a differenze finite, mediante metodi di calcolo avanzato, che forniscono i valori medi delle concentrazioni in ogni cella del dominio. Sono state utilizzate macchine ad architettura parallela, dotate di un insieme di 16, 32 o anche più processori, con programmi che dedichino una parte di essi al coordinamento e alla distribuzione del lavoro.

$$\begin{aligned} \frac{\partial c_i}{\partial t} = & - \left(\frac{\delta(u c_i)}{\delta x} + \frac{\delta(v c_i)}{\delta y} + \frac{\delta(w c_i)}{\delta z} \right) \\ & + \frac{\delta}{\delta x} \left(K_H \frac{\partial c_i}{\partial x} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left(K_H \frac{\partial c_i}{\partial y} \right) + \frac{\delta}{\delta z} \left(K_V \frac{\partial c_i}{\partial z} \right) \\ & + R_i + S_i + Q_i \end{aligned}$$

L'architettura della macchina deve essere disposta in modo da utilizzare specifici programmi e linguaggi e quindi occorre che essa sia dedicata prevalentemente all'uso di questi tipi di analisi.

La catena modellistica: WRF-EMEP-CHIMERE:

Alla partenza del Progetto nel 2009 i modelli Emissivi, ma anche i programmi di adattamento della Meteorologia e della Diffusione-Reattività, hanno dovuto essere reimpostati rispetto a precedenti esperienze condotte presso i Dipartimenti di Chimica e di Applicazioni Matematiche della Università Federico II e il Dipartimento di Scienze Applicate della Università Parthenope [3-6]. Inoltre è stato necessario implementare i nuovi programmi sulle macchine parallele acquistate dalla azienda ITM, istruendone il personale e i borsisti del Dip. Chimica. Si è utilizzato il programma WRF per la meteorologia, più flessibile del precedente MM5. Il Processore Meteo è stato alimentato, per ogni giorno, con i dati forniti dall'Agenzia USA N-CAR e/o dal Centro Europeo ECMWF di Reading, a seconda se si effettuavano simulazioni attuali o ricostruzioni di scenari progressi. In questo modo sono stati costruiti i campi di venti a diverse quote, riferite ai profili orografici ottenuti da N-CEP.

I Campi emissivi:

Si è utilizzata la nuova Banca Dati per le emissioni messa a punto dal Consorzio EMEP, ottenuta tramite il Consorzio ISPRA (ex ANPA). Questa Banca Dati raccoglieva l'andamento documentato delle emissioni italiane per Regione, per inquinante e per anno, dal 1990 al 2007. Un'altra Banca Dati riportava i dati disaggregati per provincia fino al 2005. In dettaglio sono riportati a parte i **principali inquinanti**, le **Categorie emissive** disaggregate, da cui sono tratti i file di dati, e le **Fonti statistiche** utilizzate. Per un controllo interno di congruità abbiamo anche estrapolato e pesato i dati mensili al 2010.

Dati e Fonti delle Banche Dati EMEP (coprono il 95-97% delle emissioni):

Inquinanti principali: SO₂, NO_x come NO₂, CO, NonMethanicVOC, NH₃, PM₁₀ e PM_{2.5}, Pb, Cd, Hg, As, Cr, Cu, Ni, Se, Zn; inoltre i POP (Persistent Organic Product): PCB (PoliCloroBifenili), DiBenzoDiossine e analoghi, IPA (Idrocarburi Policiclici Aromatici), altri solventi clorurati.

Fonti statistiche: ISTAT, ENEA, TERNA, Min. Economia (Bilancio energetico, Bollettini petrolio), Min. Trasporti, Min. Politiche Agricole, Forestali, Alimentari, ISPRA (emissioni da rifiuti), SiISTAN (Natural Environmental Emissions).

Categorie: **1A:** Consumi energetici di industrie energetiche e manifatturiere. **1B:** Trasporti (numero veicoli, aerei, attività marittime e ferroviarie). **1C:** Consumi energetici civili. **1D:** Perdite trasporto carburanti. **2:** Produzione Processi industriali. **3:** Uso di solventi etc. **4:** Agricoltura (superficie, produzione, no. Animali, consumo fertilizzanti). **5:** Uso del suolo e cambiamenti (Sup. foreste, terreno ammontare biomassa, combustione biomassa, crescita biomassa). **6:** ammontare rifiuti.

Il modello diffusivo-reattivo CHIMERE:

I file contenenti dati meteo e quelli emissivi sono stati utilizzati dal programma CHIMERE (certificato internazionalmente) per produrre gli scenari di Qualità dell'Aria relativi alla regione Campania a seguito di una procedura di "nesting" successivi a partire dagli scenari europei e italiani. In effetti è stata utilizzata una base ampia di dati emissivi e di inquinanti secondari (sempre da EMEP), per tener conto della rete di reazioni chimiche e fotochimiche coinvolte.

Lo schema del sistema modellistica è presentato di seguito.

A parte è riportata la distribuzione di popolazione del particolato con le definizioni implicite delle principali dimensioni considerate nei procedimenti analitici e modellistica.

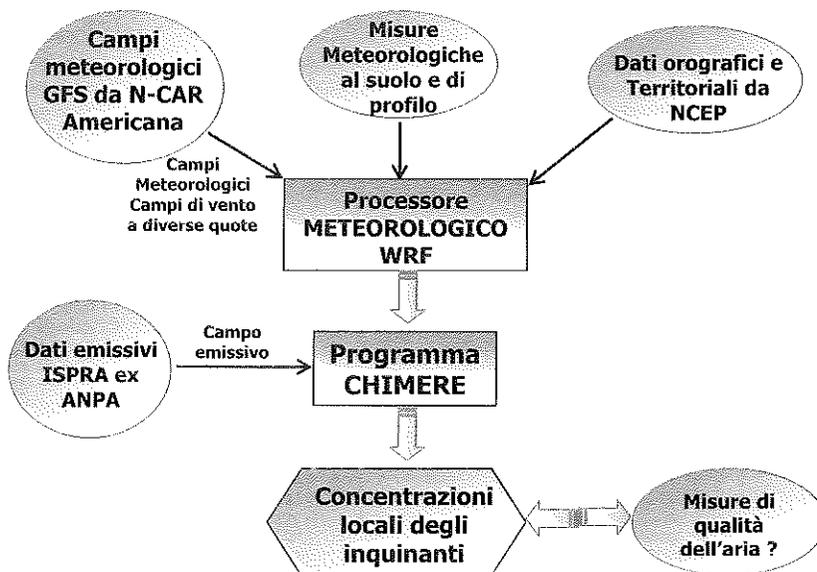


Figura 2 - Schema del Sistema modellistica

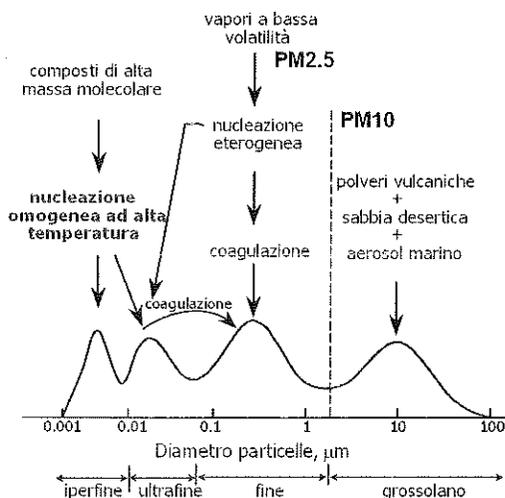


Figura 3 – Schema di formazione del particolato

I risultati del Progetto Operativo Regionale – Misura 3.17

- *Materiale prodotto*

Sono state prodotte, per analisi e testing, mappe relative a **16 scenari** con valori di inquinamento non alterati. Ogni scenario ha una durata media di 5-7 giorni di simulazione per un totale di **circa 100 giorni** simulati pari a oltre **2400 ore**. A causa delle condizioni iniziali da stabilizzare sono state scartate dalle considerazioni finali le prime 36-72 ore di ogni procedimento.

Per ogni giorno sono state prodotte **mappe a cadenza oraria** (24 mappe per giorno) relative a **5 inquinanti** selezionati (CO, NO, NO₂, O₃, PM₁₀) riferite ad una quota convenzionale di 950 mbar (corrispondente ad alcune decine di metri dal suolo reale):

Sono state effettuate **simulazioni** che prevedono alterazioni degli scenari realistici: assumendo ad esempio un fattore doppio di emissioni regionali per tutti gli inquinanti volatili e per il particolato.

Queste hanno prodotto, come era da aspettarsi, variazioni di dispersione e concentrazione **non proporzionali** per gli inquinanti gassosi a causa della rete di reazioni chimiche e fotochimiche che li legano. Invece le concentrazioni delle polveri sottili banalmente raddoppiano.

Dalle analisi effettuate, si può quindi ritenere che i dati forniti dagli Scenari sviluppati con le Metodologie e i Programmi presentati in questo Progetto, siano del tutto coerenti con le aspettative e in accordo del tutto soddisfacente con i dati sperimentali forniti dalle Centraline della Rete Regionale (fin quando funzionanti) e/o da campagne sperimentali dedicate al Progetto stesso.

- *Campagne sperimentali di supporto:*

Misure di PM₁₀: 9 campagne diurne con strumentazione DUST SCAN su furgone o auto o postazione fissa da dicembre 2009 a maggio 2011 (3-6 giorni consecutivi).

Misure di CO, NO₂, O₃: 9 campagne diurne con strumentazione ETIL BUS su furgone o auto o postazione fissa da gennaio 2011 a luglio 2011 (4-12 giorni consecutivi).

Per tutto il periodo delle campagne sperimentali e delle simulazioni sono stati registrati tutti i dati disponibili mensilmente dalla Rete Regionale ARPAC, fin quando sono state funzionanti.

Tenendo in considerazione tutte le simulazioni dei vari scenari effettuate e le versioni con i valori di inquinamento alterati, è stato ottenuto come risultato un insieme di circa **12000 mappe grafiche, qui non riportate.**

Conclusioni

Gli Scenari forniscono un quadro delle emissioni molto più dettagliato di quello fornito dalla Rete Regionale di Centraline fisse, non solo spaziale, ma anche nella sua evoluzione oraria nel corso delle singole giornate. Gli scenari infine tengono ben conto delle condizioni meteorologiche per cui i massimi più accentuati vengono riscontrati nei periodi secchi o poco ventosi, mentre tendono ad abbassarsi, nei giorni di pioggia e nelle ore più piovose.

Gli Scenari per altro mostrano l'esistenza di dati di inquinamento spesso più accentuati di quelli misurati nelle città e che si presentano in particolare nelle aree della Regione dove non vi sono strumentazioni per il monitoraggio continuo dell'inquinamento.

Eventi del tutto episodici (fuochi pirotecnici di Capodanno, estesi incendi di immondizia) esulano ovviamente dalla possibilità di razionalizzazione e di previsione dei metodi proposti.

Ne discendono quindi le seguenti conseguenze:

- *Possibili utilizzazioni:*

Considerando la possibilità di prolungati collassi della Rete Regionale ARPAC, le Metodologie presentate in questo progetto, possono esercitare un valido ruolo di supplenza, purchè siano gestiti da personale a conoscenza del know-how necessario. Il sistema è inoltre facilmente configurabile per simulare scenari di inquinamento su qualsiasi altra zona geografica.

Un'altra capacità di analisi è rappresentata dalla possibilità di calcolare l'inquinamento da polveri sottili e da sostanze gassose, previste dalle Normative di Legge, anche in aree non coperte dalla

Rete Regionale di Centraline fisse, oltre alla possibilità di arricchirne le corrispondenti Banche dati a disposizione delle Autorità locali o di potenziali utenti.

E' possibile in principio non limitarsi a fare delle previsioni sull'andamento degli inquinanti, anche locali, come è possibile già oggi, ma utilizzare gli strumenti anche per effettuare delle previsioni realistiche a breve termine (oggi/domani/dopodomani) sullo stato dell'inquinamento atmosferico e della Qualità dell'aria.

- Alcuni suggerimenti:

Attuare l'istituzione della Città Metropolitana o di una Autorità equivalente per la disciplina coordinata degli interventi sul traffico a livello provinciale o interprovinciale.

Risistemare la disposizione delle Centraline della Rete ARPAC (almeno a Napoli – tenendo conto delle nuove e previste ztl e dei risultati del POR: ad es. piazza Sannazaro, uscita tunnel Fuorigrotta-Mergellina, etc.).

Potenziare quanto prima la rete di trasporto su ferro a livello regionale: completare l'anello della Metropolitana di Napoli e le nuove linee urbane; completare la linea Napoli (Piscinola)-Aversa fino a S.Maria Capua Vetere; rafforzare la Napoli-Caserta, la Napoli-Salerno (con le ramificazioni a Battipaglia e Atripalda/Avellino), la Napoli-Benevento via Valle Caudina e via Aversa, la Napoli - Villa Literno via Pozzuoli e via Aversa, la Circumvesuviana, la Cumana, la Circumflegrea e l'Alifana; prolungare gli orari serali di tutte le linee.

Infine ampliare il verde urbano a Napoli e altre città (viali, parchi, giardini).

Bibliografia

- [1] E. Chianese, A. Riccio, I. Duro, M. Trifuoggi, P. Iovino, S. Capasso, G. Barone – “*Measurements for indoor air quality assessment at Capodimonte Museum in Naples*” Inter. J. Environ. Res. 2012, 6(2), 509-518.
- [2] Sistema informatico, di supporto per la valutazione dell'impatto ambientale preventivo sulla qualità dell'aria regionale da parte di nuovi insediamenti produttivi o di servizio”. Programma Operativo Regionale (POR), Misura 3.17 “ITM474925”.
- [3] A. Riccio, G. Barone, E. Chianese, G. Giunta – “*A Hierarchical Bayesian Approach to the Spatio-Temporal Modeling of Environmental Data*” Atmospheric Environment, 40 (2006) 554-566.
- [4] E. Chianese, G. Barone, A. Riccio, - “*Modelization of PM Dispersion and Formation in South Italy Atmosphere*” Secondo Convegno Nazionale sul Particolato Atmosferico PM2006, Firenze, Settembre 2006.
- [5] E. Chianese, G. Barone, R.M. Castaldo, A. Riccio, - “*Indoor Pollution PM2.5 and PM10 from Cigarette Smoking*” Chemistry & Industry (2009) 138-142.
- [6] G. Barone, I. Duro, D. Mastrangelo, R. Montella, A. Riccio, L. Varriale “*Air pollution modeling: a Project for the Campania Region Board*” Atti del XXXIX Congresso Nazionale di Chimica Fisica, 80, Stresa, settembre 2010.

**MODIFICAZIONI DEI PRODOTTI D'IDRATAZIONE DEL CEMENTO PORTLAND IN PRESENZA DI
MATERIALI CEMENTIZI SUPPLEMENTARI.**

**CHANGES IN CEMENT PORTLAND HYDRATION PRODUCTS IN THE PRESENCE OF CEMENTITIOUS
SUPPLEMENTARY MATERIALS.**

Nota di Riccardo Sersale

(Adunanza del di 4 maggio 2012)

Riassunto. Vengono esaminate le modificazioni indotte dalla presenza di prodotti cementizi supplementari sulla quantità e sulla natura dei prodotti d'idratazione e valutate le ricadute sul volume degli idrati, sulla porosità e sulla durabilità dei cementi compositi. Viene sottolineato che la principale modifica, a livelli di rimpiazzo tradizionali, riguarda un più basso rapporto Ca/Si del silicato di calcio idrato che, in presenza di prodotti supplementari ricchi di allumina, può incorporare quantità rilevanti di questo elemento. Si pone in luce che, a brevi termini, predomina un effetto "filler", con conseguente incremento della reattività delle fasi del clinker. Si sottolinea infine che la reazione dei prodotti cementizi supplementari decolla più tardi delle fasi del clinker ed è promossa da un aumento di pH e della temperatura e che composizione e finezza del prodotto cementizio supplementare giocano un ruolo determinante.

Parole chiave: Materiali cementizi supplementari. Cementi compositi. Idratazione.

Summary. Changes in the amount and kind of hydration products induced in blended cements by the presence of supplementary cementitious materials and effects on hydrates volume, porosity and durability, are examined. It has been emphasized that, at usual replacement, the lower Ca/Si ratio of the calcium silicate hydrate is the major change, which, in the presence of alumina-rich supplementary cementitious materials, can incorporate higher Al-amounts. It has been pointed out, too, that at early ages, a "filler" effect prevails, enhancing reactivity of clinker phases. It is in the end highlighted that cementitious supplementary materials hydration starts later than clinker phases and is promoted by the pH and temperature increase and that composition and particle size distribution of cementitious supplementary materials play a decisive role.

Key words: Cementitious supplementary materials. Blended cements. Hydration.

Si fa oggi giorno largo uso di prodotti cementizi supplementari, sia come aggiunte attive, in quantità variabile, al cemento Portland per la produzione di cementi compositi (1), sia frammisti al clinker in via di macinazione, sia uniti direttamente al calcestruzzo prima o durante il progetto della miscela. L'impiego di tali prodotti, che non richiede processi addizionali di clinkerizzazione, comporta: - una significativa riduzione delle emissioni di biossido di carbonio per tonnellata di cemento prodotto (2), - una economia di combustibile (dieci tonnellate di prodotto cementizio supplementare comportano il risparmio di una tonnellata di combustibile), o di energia elettrica, - una più alta resistenza agli ambienti aggressivi (3), - un più basso calore d'idratazione (4), - un ridotto contenuto di alcali ed una minimizzazione della reazione alcali-silice (5), - un aumento delle resistenze alle lunghe stagionature delle malte e dei calcestruzzi (6). Possibili vantaggi quali: più lento sviluppo delle resistenze meccaniche alle brevi stagionature (perché prevale un effetto "filler" del prodotto cementizio supplementare), maggiore sensibilità ad una stagionatura troppo breve, insufficiente umidità, sono però sicuramente superati da benefici economici, dalla salvaguardia dell'ambiente, dalla conveniente collocazione di sottoprodotti industriali che andrebbero a discarica (7).

La maggior parte delle ricerche reperibili in letteratura sulle proprietà caratteristiche dei cementi compositi ha finora privilegiato più la valutazione delle proprietà meccaniche (disciplinate dalla Norma (8)) e della durabilità e meno invece l'influenza dei prodotti cementizi supplementari sulla microstruttura del complesso degli idrati e sulla cinetica d'idratazione dei cementi compositi (9), diversamente da quanto è stato fatto per il cemento Portland (10). Per quest'ultimo sono infatti ben conosciute le fasi idrate del clinker, che principalmente risultano nella formazione di : C-S-H, portlandite, ettringite e fasi AFm.

L'aggiunta di prodotto cementizio supplementare rende più complicato il sistema, perché sia l'idratazione del cemento Portland, che la reazione dell'aggiunta attiva, decorrono simultaneamente e possono influenzarsi reciprocamente, ciò che rende difficile valutare separatamente il grado di reazione di ciascuno dei due componenti.

In genere, la reazione del maggior numero di prodotti cementizi supplementari risulta più lenta di quella dei componenti del clinker e più difficile da seguire. Composizione chimica, finezza di macinazione, ammontare di specie reattive (frazione vetrosa o zeoliti (11)), composizione della fase liquida, regolano la cinetica d'idratazione del prodotto cementizio supplementare. Proprio per la difficoltà di valutare quantitativamente gli effetti della reazione dei prodotti cementizi supplementari in seno al composito, non molto è noto sull'influenza dei suddetti parametri.

Da tempo si è constatato che anche prodotti inerti addizionati al clinker, esplicano una rilevante influenza sull'idratazione del cemento Portland, attribuibile ad un effetto "filler", interpretabile secondo due principali meccanismi. Il primo, riconducibile alla creazione di uno spazio supplementare, perché il filler non genera idrati. A parità di rapporto acqua/solido, il rapporto acqua/clinker aumenta, mettendo a disposizione dei prodotti d'idratazione di quest'ultimo una più ampia area. Il secondo, riconducibile ad aumento della nucleazione, perché l'area supplementare, messa a disposizione dei prodotti cementizi supplementari, particolarmente per inerti fini, origina siti di nucleazione per i prodotti d'idratazione del clinker (12).

Per migliorare le conoscenze sugli effetti della presenza di prodotti cementizi supplementari in seno al clinker, è stata compiuta un'approfondita ricerca rivolta a riordinare, sulla base delle risultanze disponibili in letteratura, ma anche con apporti originali, l'influenza esercitata dai prodotti cementizi supplementari addizionati al clinker di Portland (9).

La figura 1 indica la loro posizione nel diagramma ternario $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$.

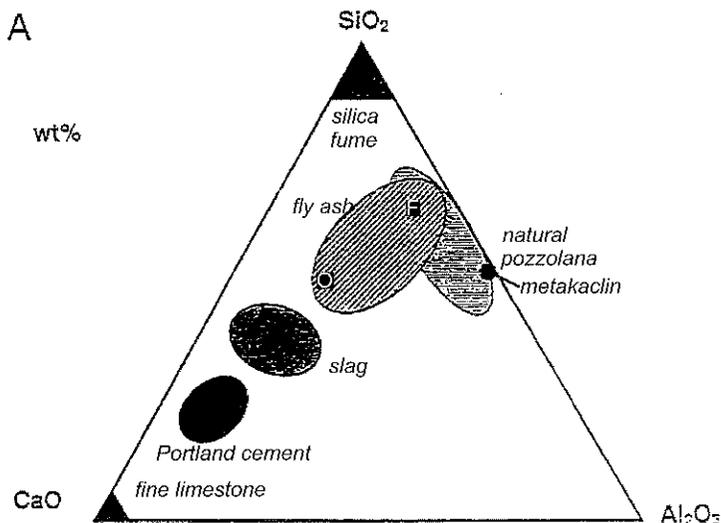


Fig. 1. Posizione nel diagramma ternario di: fumo di silice, ceneri volanti C ed F, pozzolana naturale, metacaolino, scoria d'alto forno e filler calcareo.

E' stato posto in luce che, nel corso del processo d'idratazione, si determinano rilevanti differenze negli idrati neoformati responsabili del comportamento tecnico, per effetto del minor contenuto di calcio, rispetto a quello del clinker, generalmente recato dai prodotti cementizi supplementari.

E' stato sottolineato che il silicato di calcio idrato (C-S-H) che si origina nei cementi compositi che recano prodotti cementizi supplementari ricchi di silice, è notevolmente differente da quello del cemento Portland. Si forma un C-S-H a più basso rapporto Ca/Si, con una struttura di tipo tobermorite, con molti difetti. Alcuni ricercatori hanno ipotizzato un C-S-H nell'idratazione del cemento Portland e, nei cementi compositi, un C-S-H di tipo "pozzolanico" che, però, non sono distinguibili. Un C-S-H a più basso rapporto Ca/Si può incorporare più alluminio nella struttura, rispetto al C-S-H ad alto rapporto Ca/Si.

Qualitativamente, la miscela cemento Portland/fumo di silice origina una riduzione del quantitativo di portlandite e la formazione di un C-S-H a più basso rapporto Ca/Si. Del pari, la miscela che reca cenere volante abbassa la quantità di portlandite ed aumenta quella di C-S-H a più basso rapporto Ca/Si. Aumenta anche il contenuto di fasi AFm, perché le ceneri volanti possono recare alti quantitativi di allumina.

Il C-S-H può incorporare alluminio, il cui ammontare aumenta con la diminuzione del rapporto Ca/Si (13) e con l'aumento della concentrazione dell'alluminio in soluzione.

Fino ad alti livelli di sostituzione la miscela con scoria d'alto forno non denunzia effetto rilevante sulla quantità di portlandite, rispetto al Portland da solo; si forma però una maggior quantità di C-S-H con più basso rapporto Ca/Si. Quantitativo d'ettringite, specie ed ammontare di fasi AFm, dipendono dalla composizione e dalla reattività del prodotto cementizio supplementare.

Il rimpiazzo parziale di clinker di Portland con prodotti cementizi supplementari comporta una diminuzione del volume totale degli idrati neoformati. Ciò porterebbe a ritenere che le paste di cementi compositi avrebbero una porosità totale maggiore di quella delle paste di solo cemento Portland. Ciò appare però una stranezza, poiché è noto che le miscele Portland/prodotti cementizi supplementari sviluppano resistenza meccanica più alta e permeabilità più bassa del solo cemento Portland (7). Vien fatto allora di chiedersi se la densità effettiva, o la capacità di riempimento del C-S-H dello spazio nelle paste di cemento composito, sia pari a quella delle paste di solo cemento Portland. Le indagini condotte convergono nell'indicare che i cementi compositi spesso denunciano porosità totali uguali, od anche più alte, delle paste di solo cemento Portland, ma una struttura dei pori più affinata (14). E' stato osservato in particolare che le paste di Portland/scoria d'alto forno recano più pori fini e meno pori capillari più grossolani delle paste di solo cemento Portland, ciò che induce una ridotta permeabilità.

Cementi compositi Portland/fumo di silice.

Per effetto dell'area superficiale estremamente elevata, il fumo di silice (così come il metacaolino), aumenta la velocità di reazione, sia per effetti di nucleazione, sia per reazione "pozzolanica".

La velocità della reazione pozzolanica è sensibile alla temperatura che la incrementa, anche se la reazione è più lenta di quella del cemento Portland.

Gli idrati osservati sperimentalmente nelle miscele Portland/fumo di silice sono principalmente: il C-S-H, l'ettringite, le fasi AFm ed una ridotta quantità di portlandite. La miscela recante circa 24% in peso di fumo di silice, ha mostrato, dopo lunghi tempi d'idratazione un C-S-H con ridotto rapporto Ca/Si, ettringite ed un totale consumo di portlandite.

La reattività del fumo di silice è generalmente maggiore sia di quella della cenere volante, sia di quella della scoria d'alto forno, per effetto della piccola dimensione delle particelle. E' stata osservata una reazione relativamente bassa (circa 5%) di fumo di silice nel corso delle prime ore, una reazione che però continua per mesi (15). Nel prosieguo, la velocità di reazione aumenta notevolmente, tanto da far reagire, dopo due giorni o più, 20-80% di fumo. La reazione viene accelerata perché il pH della soluzione dei pori delle paste che recano cemento Portland aumenta notevolmente dopo circa 12-16 ore. A tempi più lunghi il C-S-H addizionale, generato dalla

reazione "pozzolanica", fissa alcali, ciò che provoca una riduzione del pH della soluzione dei pori ed un rallentamento dell'ulteriore reazione del fumo di silice. Un alto livello di rimpiazzo di clinker di Portland riduce la reazione del fumo, perché si abbassa il pH della soluzione dei pori. In assenza di portlandite il fumo di silice continua a reagire, ma più lentamente.

Nelle miscele cemento Portland/prodotti cementizi supplementari ricchi di silice e poveri di alcali, si abbassa il pH e la concentrazione di alcali nella soluzione dei pori, poiché la portlandite viene consumata dalla reazione pozzolanica, provocando una più bassa concentrazione di calcio nella soluzione dei pori e poiché il C-S-H, a più basso rapporto Ca/Si e più alto contenuto d'allumina, fissa più alcali(16).

Cemento composito Portland/cenere volante.

La miscela comporta una riduzione del tenore totale di portlandite, talvolta meno sentito rispetto al fumo di silice, per effetto di una più limitata reattività e perché il contenuto di ossido di calcio della cenere costituisce una fonte addizionale di calcio. Si origina un'abbondanza di fasi ricche di alluminio, perché le ceneri di classe F recano tra 15 e 35% di allumina. L'ettringite diminuisce per effetto del basso contenuto di SO_3 della cenere e aumenta invece il contenuto di fasi AFm. La stratlingite si può formare se la cenere reca alte quantità di allumina, in funzione anche dell'alluminio incorporato nel C-S-H. Rimpiazzando circa il 60% di clinker con cenere volante dopo lunghi tempi di stagionatura (un anno o più), si è rilevata la completa scomparsa di portlandite (16).

Quando ha reagito una significativa quantità di cenere è stato sperimentalmente osservata presenza di stratlingite, una diminuzione di contenuto di ettringite e un aumento di fasi AFm. Il C-S-H formato ha un più basso rapporto Ca/Si e reca più alluminio.

A temperatura ambiente la reazione della cenere volante è lenta e solo dopo lunghi tempi di idratazione, circa una settimana, si riduce la quantità di portlandite recata dal cemento Portland. Inizialmente si origina più portlandite rispetto a quella del cemento Portland, perché l'idratazione del clinker viene accelerata per effetto filler. La lenta reazione della cenere volante giustifica il fatto che inizialmente l'insieme degli idrati che si originano nelle miscele Portland/cenere risulta uguale a quelli del solo cemento Portland: C-S-H, portlandite, ettringite e fasi AFm. Alte quantità di ceneri riducono la reazione, mentre temperature più alte considerevolmente la promuovono.

Cementi compositi Portland/scoria d'alto forno granulata.

Risultati simili sono stati ottenuti con cementi compositi recanti fumo di silice o ceneri volanti.

Generalmente la scoria d'alto forno, che reca più CaO e molto meno Al_2O_3 della cenere volante, non si idrata completamente come risulta dalla rilevazione della presenza di grani di scoria finanche in cementi lungamente stagionati. Nei campioni idratati è stata sperimentalmente osservata la presenza di: portlandite, C-S-H, ettringite, fasi AFm ed una fase di tipo idrotalcite (18) per effetto del contenuto fra 7 e 15% di MgO. Ad alti livelli di sostituzione di clinker è stata osservata minor presenza di ettringite. Il C-S-H ha più basso rapporto Ca/Si e più alto rapporto Al/Si del cemento Portland (18).

Generalmente la scoria mostra una reazione più celere di quella della cenere volante. Se la miscela reca meno scoria, dopo un certo tempo aumenta la frazione scoria reagita. La sua reattività diminuisce al diminuire del pH e con minor quantitativo di Portland, così come per altri prodotti supplementari ricchi di silice.

Nel corso delle prime ore, o dei primi giorni d'idratazione, la quantità di portlandite diminuisce e nelle miscele Portland/scoria risulta simile, od anche più alta, di quella del solo cemento Portland (15), per effetto di una più celere reazione del clinker provocata da effetto "filler". A tempi più lunghi è stata osservata una modesta riduzione della quantità di portlandite rispetto al solo cemento Portland.

Conclusioni.

La presenza di prodotti cementizi supplementari in seno al clinker influenza quantità e natura dei prodotti d'idratazione, con rilevanti ricadute sul volume degli idrati, sulla porosità e sulla durabilità dei cementi compositi.

La principale modifica della composizione dei prodotti d'idratazione, a livelli di rimpiazzo tradizionali, riguarda il C-S-H che, anche in presenza di portlandite, volge verso più bassi rapporti Ca/Si. Esso, in presenza di prodotti cementizi supplementari che recano allumina, può incorporare apprezzabili quantità di questo elemento e, se recano magnesio, può formarsi anche una fase di tipo idrotalcite.

Per effetto delle modifiche nel C-S-H, il complesso delle fasi idratate, la soluzione dei pori delle paste di cemento composito, si differenziano da quella delle paste di solo Portland per un abbassamento del livello di pH, un beneficio per la mitigazione della reazione alcali-silice (17).

La valutazione dell'influenza dei prodotti supplementari sulla cinetica di reazione del risultante cemento è resa difficile per un'interazione fra componenti del clinker ed aggiunte attive. A brevi termini, prevale un effetto "filler", che favorisce l'idratazione del clinker, sia per la disponibilità di uno spazio supplementare, sia per reazioni di nucleazione.

Come orientamento generale si può ritenere che la reazione dei prodotti cementizi supplementari (fumo di silice compreso) decoili soltanto dopo il primo giorno, o giù di lì, quando aumenta il pH della soluzione dei pori, per effetto di un rilascio di alcali, dovuto all'idratazione di una frazione dei componenti del clinker.

Il C-S-H con basso rapporto Ca/Si può incorporare alcali e ridurre col tempo la velocità di reazione. Poiché la reazione del prodotto cementizio supplementare ha luogo alla superficie dei granelli, le dimensioni delle particelle del prodotto cementizio supplementare giocano un ruolo determinante. Prodotti più fini reagiscono prima ed anche la temperatura aumenta notevolmente la reazione dei prodotti cementizi supplementari.

Bibliografia.

1. Sersale R. Advances in Portland and blended cements. Invited Paper. 9th Intern. Congress Chem. Cement. 1, 261. New Dehli (1992).
2. Sersale R. Il ruolo dei prodotti cementizi supplementari nell'abbattimento dell'effetto serra. Atti Accad. Pontaniana, Napoli, 53, 17 (2004).
3. Sersale R. Calcestruzzi durabili per opere a mare. Atti 2° Convegno Ass. Ing. Off-shore e Marina. Napoli, 511 (1989).
4. Sersale R. Blended Cements. In: Progress in Cement and Concrete. Cement and Concrete Science and Technology. 1. Part 1. 314. S.N. Ghosh Ed. New Dehli (1991).
5. Sersale R., Frigione G. Influenza delle aggiunte attive sull'alcali reazione e sulla resistenza a compressione del risultante cemento. Rend.Acc.Sc.Fis.mat. Napoli, 56, 61 (1989).
6. Sersale R., Frigione G. Portland and blastfurnace slag cements: a comparative investigation. Proc. 2nd Int. Symp. Cement Concrete. Nanjing Inst. Chem. Techn. Printing House. II, 280. Beijing (1989).
7. Sersale R. Le aggiunte minerali al cemento Portland ordinario e le modificazioni del suo comportamento tecnico. Rend. Acc. Sc. Fis. mat. Napoli, 70, 97 (2003).
8. Consiglio Nazionale delle Ricerche. Commissione di Studio per le Norme sul cemento, cemento armato, cemento armato precompresso, leganti idraulici e laterizi. Guida all'impiego dei cementi. Roma (1996).
9. Lothenbach B., Scrivener K., Hooton R.D. Supplementary cementitious materials. Cement Concrete Res., 12, 1244 (2011).
10. Taylor H.F.W. Cement Chemistry. Thomas Telford Publish. London (1997).
11. Sersale R., Frigione G. Natural zeolites as constituents of blended cements. La Chimica e l'Industria, 67, 4, 177 (1985).
12. Fernandez Lopez R. Calcined clayey soils as potential replacement in developing countries. Thesis EPFL No 4302. Lausanne (Switzerland).
13. Richardson I.G., Groves G.W. The incorporation of minor and trace elements into C-S-H gel in hardened cement pastes. Cement Concrete Res., 23, 131 (1993).
14. Ouellet S., Bussière B., Aubertin M., Benzaazoua M. Microstructural evolution of cemented paste backfill: mercury intrusion porosimetry test results. Cement Concrete Res., 12, 1654 (2007).
15. Pane I., Hansen W. Investigation of blended cement hydration by isothermal calorimetri and thermal analysis. Cement Concrete Res., 35, 1155 (2005).
16. Hanehara S., Tomosawa F., Kobayekawa M., Hwang K.R. Effects of water/powder ratio, mixing ratio of fly ash and curing temperature on pozzolanic reaction of fly ash in cement paste. Cement Concrete Res 1, 31 (2001).
17. Sersale R. La reazione alcali-silice e l'attacco solfatico interno: due ulteriori cause di degrado chimico del calcestruzzo di cemento. Rend.Acc.Sc.Fis. mat. Napoli, 68, 119 (2001).
18. Taylor R., Richardson I.G., Brydson R.M.D. Composition and microstructure of 20-year-old ordinary Portland cement-ground granulated blastfurnace slag blends containing 0 to 100% slag. Cement Concrete Res, 7, 971 (2010).

Alfonso Maria Liquori ed il suo ruolo nel risveglio scientifico napoletano nei primi anni '60 del secolo scorso

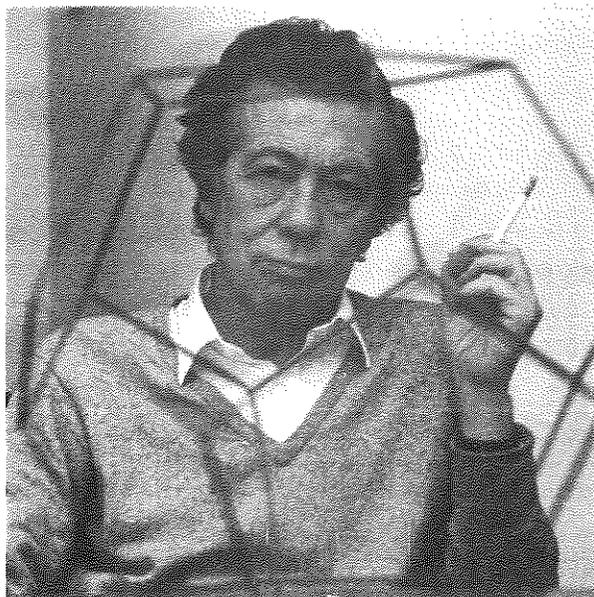
Nota del Socio Ord. Res. Lelio Mazzarella
(Adunanza del dì 8 Giugno, 2012)

Premessa

Sono trascorsi ormai poco più di cinquanta anni da quando Alfonso Maria Liquori si trasferì a Napoli come titolare della cattedra di Chimica Fisica presso la Facoltà di Scienze MM.FF.NN. dell'Università, ora nota con il nome di "Federico II". Liquori era un napoletano che a Napoli è vissuto brevemente, ma che a Napoli ha lasciato una traccia profonda, visibile ancora oggi, a distanza di oltre mezzo secolo. Era il tempo – siamo agli inizi degli anni '60 – in cui il mondo, dopo una lunga parentesi dolorosa e buia, incominciava a riprendere fiducia in sé stesso, si interrogava e si proiettava nel futuro. Questo clima di entusiasmo, di fiduciosa aspettativa e di profondo risveglio culturale stava investendo anche la società napoletana, e gli anni che sarebbero seguiti possono essere considerati tra i più vivaci e interessanti della storia scientifica della nostra città nel ventesimo secolo. Liquori arrivò in questo periodo e a questo clima di rinnovamento partecipò con entusiasmo, intelligenza e passione.

Gli anni della formazione

Era nato a Napoli nel 1926 ed a Napoli, all'età di 17 anni, aveva conseguito la licenza liceale. Trasferitosi subito dopo a Roma, prese parte attiva alla Resistenza nel periodo dell'occupazione tedesca fino alla Liberazione. Si laureò in Chimica (indirizzo chimico-fisico) con lode nel 1948, con una tesi svolta presso l'Istituto di Chimica Generale della Università di Roma, diretto dal prof. Vincenzo Caglioti. Durante la preparazione della tesi di laurea, sotto la guida dell'allora giovane professor Giordano Giacomello, aveva fatto i suoi primi passi nell'affascinante mondo della struttura delle molecole e dei cristalli. Fu



A. M. Liquori

Giacomello ad indirizzare Liquori verso i laboratori di quelle grandi personalità del mondo scientifico con cui egli stesso aveva lavorato nel lontano '35-36: Hermann Mark a Vienna e John Bernal a Cambridge. J. D. Bernal - alla cui scuola si formarono Max Perutz (premio Nobel per la Chimica 1962), Dorothy Crowfoot Hodgkin (premio Nobel per la Chimica 1964), Isidor Fankuchen, Aaron Klug (premio Nobel per la Chimica 1982), Rosalind Franklin, e tanti altri - fu il primo cristallografo che aveva intravisto le grandi potenzialità della diffrazione dei raggi X anche per la delucidazione della struttura tridimensionale di macromolecole biologiche, un obiettivo in quell'epoca proibitivo per molecole di tali dimensioni. A partire dai primi studi di Bernal, questa metodologia fisica costituì la base per i risultati che portarono, negli anni cinquanta, alla scoperta della doppia elica del DNA e della tripla elica del collagene, alla determinazione della struttura della mioglobina e dell'emoglobina ed ai grandi progressi della biologia strutturale, ma anche alla determinazione delle strutture dei polimeri sintetici stereoregolari preparati presso i laboratori diretti da G. Natta. Durante gli studi universitari Liquori era entrato in contatto con lo stimolante ambiente della fisica romana; era rimasto particolarmente attratto dall'approccio di Erwin Schrodinger e di J. Bernal alla biologia, e dai risultati di Linus Pauling, uno scienziato americano premio Nobel per la Chimica (1954) e per la Pace (1962), che, partendo dalla chimica teorica, stava ottenendo entusiasmanti risultati anche nel campo delle biomolecole.

Appena laureato, Liquori andò negli Stati Uniti con una borsa di studio dell'UNESCO e dell'American Chemical Society per svolgere ricerche presso il Polymer Institute del Politecnico di Brooklyn, New York, diretto da Hermann Mark, uno dei padri della chimica macromolecolare. E' qui che iniziò la sua attività nella scienza dei polimeri, che era allora la scienza di punta dei nuovi materiali. Tuttavia i suoi interessi, più che alla ricerca applicata, che peraltro non disdegnava, erano maggiormente rivolti alla ricerca fondamentale. Durante la permanenza a New York era stata scoperta, nel sangue di alcuni pazienti affetti da anemia, la presenza di una emoglobina anomala che produceva una caratteristica deformazione a falce degli eritrociti. Linus Pauling aveva intuito che questa patologia, identificata come anemia a cellule falciformi, era causata da un difetto genetico e definì questa patologia, per la prima volta nella storia della biologia, una *malattia molecolare*. Liquori riuscì a procurarsi un campione purificato di questa emoglobina anomala (Hb S) ed a cristallizzarla. Messosi in contatto con M. Perutz in Inghilterra, che stava lavorando sulla struttura della emoglobina umana normale (Hb A), si spostò per un anno a Cambridge dopo aver ottenuto un contratto di ricerca con il Consiglio delle Ricerche inglese, per analizzare i cristalli di Hb S mediante diffrazione di raggi X. Il lavoro pubblicato su Nature (1), che raccoglie i dati ottenuti a Cambridge, è il primo lavoro cristallografico su una proteina mutante e, pur in mancanza di dati sulla struttura tridimensionale delle due emoglobine (le strutture di mioglobina ed emoglobina, così come quella di tutte le altre proteine, erano ancora di là da venire), contiene l'importante conclusione, per nulla scontata a quell'epoca, che nella forma legata all'ossigeno l'emoglobina anomala e quella normale possedevano strutture spaziali molto simili (1,2). Oltre venti anni dopo – quando ormai lo sviluppo delle metodologie cristallografiche era molto più avanzato e il problema delle caratteristiche strutturali di Hb S venne ripreso in esame – un gruppo di ricercatori americani, a completamento dei risultati ottenuti da Perutz, Liquori ed Eirich sulla forma di Hb S legata all'ossigeno, affrontò in via prioritaria la determinazione della struttura di questa emoglobina nella forma non legata per metterne in evidenza eventuali differenze con l'emoglobina normale.

A quel tempo Perutz dirigeva una piccola unità del Medical Research Council, localizzata nel celebre Cavendish Laboratory diretto da Lawrence Bragg. I membri permanenti dell'unità di ricerca erano, oltre a lui, John Kendrew, Francis Crick ed un tecnico. Ricorda Liquori: “ *Si lavorava in poco spazio e senza molti strumenti, avevamo una sola camera di diffrazione che usavamo a turno, ma tutto procedeva con regolarità, e sempre in un clima di cordialità e disponibilità ad aiutarsi reciprocamente. In più, vivendo in un Istituto come il Cavendish, può succedere che al tè o a colazione ti trovi per caso seduto, per esempio, di fronte al miglior teorico di ottica di raggi X o al miglior cristallografo, ma tutto questo accade sempre con una grande semplicità.*” Successivamente Liquori trascorse un periodo di studio all'Università di Leiden in Olanda, presso l'Istituto di Chimica Fisica diretto da

J. J Hermans, che aveva conosciuto al Polymer Institute a New York. E' qui che iniziò ad affrontare problemi di termodinamica dei processi irreversibili. A Leiden incontrò anche Hendrick Hamerka, un chimico teorico molto noto, con cui eseguì studi quanto-meccanici su molecole di cui aveva determinato la struttura a Roma nell' Istituto di Giacomello (3).

Fu così che nel volgere di pochissimi anni, in diretto contatto con i laboratori di punta della ricerca internazionale, maturò la sua personalità scientifica e mise a punto i filoni di ricerca che avrebbero caratterizzato la sua attività di scienziato e quella di molti suoi allievi. Libero Docente di Chimica Generale e di Strutturistica Chimica, gli fu assegnata nel 1956 – aveva 30 anni – la Cattedra di Chimica Generale presso l'Università di Bari, dove si dedicò con impegno alla costituzione e organizzazione didattica e scientifica dell'Istituto Chimico di cui aveva assunto la direzione.

Il periodo napoletano : la ricerca

Liquori arrivò a Napoli nel Novembre del 1960, dove era stato chiamato a coprire la cattedra di Chimica-Fisica, lasciata vacante dalla scomparsa del prof. Ugo Beretta. L'aveva voluto il prof. Francesco Giordani, ormai già segnato dal male che lo avrebbe portato a rapida fine nel Gennaio del 1961. Giordani era un personaggio importante non solo nel mondo della Chimica italiana, di cui era un referente fondamentale ed indiscusso, ma anche nel mondo politico. Stretto collaboratore di Menichella, il governatore della Banca d'Italia che aveva presieduto alla rinascita economica dell'Italia nel primo dopoguerra, Giordani era stato presidente dell'IRI nel periodo pre-bellico, presidente del CNRN (Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari), che aveva contribuito a fondare nel 1952, presidente dell'Accademia dei Lincei e del CNR, ruolo quest'ultimo che in seguito sarebbe stato occupato da un altro chimico di origine napoletana, il prof. V. Caglioti, presso la cui scuola a Roma Liquori si era formato. Tuttavia, proprio il piano più squisitamente politico ed organizzativo dell'ultima attività del prof. Giordani, in uno con la sua fortissima personalità, aveva finito per conservare in una sorta di sacca privilegiata, ma chiusa, gli Istituti Chimici di via Mezzocannone. Questi erano rimasti in parte estranei al processo di rinnovamento della scienza italiana e napoletana, che si andava faticosamente sviluppando in quegli anni come conseguenza della ripresa di contatto con il mondo scientifico anglosassone e del rientro di numerosi scienziati formati negli Stati Uniti. Nell'ambito della Fisica, ad esempio, l'anziano prof. Carrelli aveva già chiamato a Napoli Eduardo Caianiello, che, al suo arrivo, aveva fondato la Scuola di Perfezionamento in Fisica Teorica e Nucleare. Nell'Istituto di Chimica Organica, con il ritiro nel 1948 della prof.ssa M. Bakunin, l'ambiente era stato movimentato dall'arrivo del prof. L. Panizzi, sostituito

successivamente dal prof. G. Speroni, che aveva introdotto alcuni dei metodi fisici moderni per lo studio delle proprietà dei composti organici, e aveva fatto conoscere agli studenti "*Il legame chimico*", il libro con cui Linus Pauling aveva rivoluzionato la presentazione dei principi base della chimica. Nel 1957 Speroni era stato a sua volta sostituito dal prof. R. Nicolaus, che aveva iniziato una vigorosa linea di ricerca sulla composizione delle melanine, ripigliando un tema caro a M. Bakunin. La Chimica Industriale, da tempo attivamente impegnata in aspetti applicativi importanti, quali i fenomeni della corrosione studiati dal prof. M. Jacopetti e le proprietà dei cementi (prof. R. Sersale), si era da poco aperta agli aspetti più squisitamente ingegneristici dell'industria chimica con L. Massimilla ed il giovanissimo G. Astarita. Negli Istituti chimici stavano allora formandosi due giovani ricercatori, Salvatore Califano e Roberto Moccia, che sarebbero diventati tra i più brillanti professori della Chimica-Fisica italiana. Ma essi erano ancora isolati e, di massima, mancava una vera tematica di ricerca di respiro ampio e moderno. Nel sentire vicino il termine della sua attività, il prof. Giordani, una persona di elevata intelligenza politica, deve essersi domandato chi potesse essere la persona migliore a cui affidare la direzione degli Istituti Chimici per avviarne la rifondazione scientifica. Profondo conoscitore dell'ambiente scientifico italiano – era in quel momento presidente del CNR e presidente della Accademia dei Lincei –, con l'ausilio del prof. Nicolaus e probabilmente consigliato dal prof. Caglioti, individuò la persona giusta in A. M. Liquori, il giovane e brillante ricercatore, che coniugava teoria ed esperimenti ed era in contatto scientifico con i più moderni centri di ricerca italiani e stranieri.

La scomparsa di F. Giordani, avvenuta poco dopo l'arrivo di Liquori a Napoli, e il trasferimento di M. Jacopetti dalla cattedra di Elettrochimica nella Facoltà di Scienze MM FF NN a quella di Elettrotecnica presso il Politecnico, misero a disposizione del giovane Liquori un grosso spazio, sia fisico che accademico, per creare in breve tempo un ambiente scientifico altamente variegato e stimolante. Con Liquori si trasferì una folta schiera di giovanissimi (il più anziano non aveva ancora 30 anni!), che avrebbero raggiunto posizioni di prestigio: Alberto Ripamonti e Vittorio Crescenzi, che l'avevano seguito da Roma, Edoardo Giglio, Pasquale De Santis, Maria D'Alagni, Vincenza Coiro e Raffaella Puliti, che si erano associati al gruppo nel periodo barese. A questi si aggiunsero, nel tempo, un numero notevole di ricercatori sia italiani che stranieri attratti dalla fama delle ricerche condotte a Napoli, tra i quali voglio ricordare Franca Ascoli, Claudio Botrè, Antonio Damiani, Sandro Kovacs, Basilio Pispisa, Giorgio Segrè. Per la prima volta dottorandi e post-doc americani (Jim Ferretti, Nick Morosof, Ira Rosen, ...) venivano a Napoli per sviluppare programmi di ricerca. E, naturalmente, il gruppo di collaboratori si allargò anche con la co-optazione di altri giovani o meno giovani ricercatori che già operavano a Napoli, quali ad es. Vincenzo Vitagliano, Paolo Giordano Orsini, e di coloro che in quegli anni si stavano laureando, Giuseppe Anzuino,

Guido Barone, Franco Quadrifoglio, Lucilla Salerno, Giuseppe Prota, Maria Savino, e me stesso.

Negli anni che Alfonso Maria Liquori trascorse a Napoli (1960-1967), prima di trasferirsi all'Università di Roma, il vecchio Istituto Chimico, fondato da De Luca sul finire dell'800 e che, trasferito in via Mezzocannone nel 1912, aveva visto insegnare Agostino Oglialoro Todaro, Ferruccio Zambonini, Marussia Bakunin, Francesco Giordani, Ugo Beretta, Mario Maria Jacopetti, fu completamente trasformato. Con una visione ampia, moderna ed interdisciplinare della Chimica, Liquori e Nicolaus chiamarono ad insegnare e ad operare scientificamente personalità di grosso prestigio quali Paolo Corradini, Arnaldo Liberti, Alessandro Ballio, Lorenzo Mangoni. Furono così gettate le basi di quelli che dapprima furono gli Istituti Policattedra e poi i Dipartimenti di Chimica e di Chimica Organica e Biologica, oggi entrambi nel Complesso Universitario di Monte S. Angelo, riuniti nel Dipartimento unico di Scienze Chimiche. Tra tutti, forse quello di Ballio fu il trasferimento più emblematico per il ruolo di rottura che esso assumeva nella tradizionale, schematica divisione del sapere allora dominante, e sottolinea l'importanza che Liquori attribuiva all'interdisciplinarietà come catalizzatore dei grandi salti conoscitivi delle scienze ed in particolare della biologia. Invero quello che Egli chiama *l'intrusione interdisciplinare*, la capacità cioè di sviluppare analogie e di trasferire conoscenze, è stata la caratteristica fondamentale del suo atteggiamento scientifico e costituisce il sostrato essenziale della sua estesa cultura. Attorno al prof. Ballio si formeranno ricercatori come G. Marino, V. Buonocore, G. Randazzo, ed altri. In quell'epoca molti laureandi in Chimica si avvieranno verso proficue carriere in ambiti disciplinari di tipo biologico nelle Università e nel CNR.

Contemporaneamente all'arrivo di Liquori, come in una reazione a catena, tutto l'ambiente scientifico napoletano si era andato risvegliando, riscoprendo sopite capacità. Dopo l'arrivo di Caianiello, l'ambiente dei fisici era stato ulteriormente movimentato dall'arrivo di Ettore Pancini e Giulio Cortini. Insieme a loro, Liquori e Caianiello avevano incoraggiato Adriano Buzzati Traverso, attratto dalla promettente situazione culturale che si andava sviluppando, a localizzare a Napoli un Laboratorio Internazionale di Genetica e Biofisica (LIGB), che in breve tempo richiamerà biologi di grosso spessore scientifico e culturale, quali Edoardo Scarano, Franco Graziosi, Enrico Calef, Paolo Amati, Lucio Luzzatto, Corrado Baglioni, ed altri. Napoli così diventò sede di ricerche nei settori più avanzati della scienza, di convegni e scuole internazionali, di visite e soggiorni di studiosi di grande fama e, soprattutto, di intense interazioni interdisciplinari. Questo ambiente era particolarmente congeniale a Liquori, che, con grosso impegno personale, attivò vari filoni di ricerca e fece dell'Istituto di Napoli un punto di riferimento internazionale. In quegli anni, non passava settimana senza che vi fosse un seminario di qualche noto ricercatore; e tra essi spesso spiccavano nomi prestigiosi quali Lifson, Kendrew, Perutz, Prigogine, Goodman, Flory, Parr, Pulmann, Scheraga ecc. Era

normale che scienziati importanti, nel programmare un viaggio scientifico nel continente europeo, mettesero in conto una deviazione per Napoli. Da questo punto di vista la sinergia con il prestigio e la statura scientifica degli altri professori dell'Istituto Chimico, Corradini, Liberti e Ballio, aveva contribuito ad accrescere l'attrattiva di una visita all'Istituto. Va sottolineato che questa vasta attività fu comunque favorita anche dai finanziamenti legati ad un momento particolarmente favorevole della ricerca macromolecolare in Italia. I risultati, che Giulio Natta ed i suoi collaboratori avevano ottenuto a Milano sul polipropilene isotattico, avevano favorito nel 1961, presso il CNR, la nascita del "Centro Nazionale di Chimica delle Macromolecole", articolato in otto Sezioni dislocate in varie Università italiane. Due di queste Sezioni furono localizzate presso l'Università di Napoli. La Sezione III con direttore Liquori presso l'Istituto di Chimica Fisica e la Sezione VII con direttore Corradini presso l'Istituto di Chimica Generale (entrambi Istituti poi confluiti nell'Istituto Chimico policattedra). La presenza nello stesso edificio di via Mezzocannone 4 delle due Sezioni fu importante per vari motivi: a) l'attività di ricerca delle due Sezioni, pure nella più o meno marcata differenza delle tematiche specifiche, faceva uso di attrezzature spesso simili e/o complementari e questo permise di potenziare il parco complessivo di attrezzature scientifiche a disposizione, b) l'aumento del numero di giovani coinvolti nei programmi di ricerca delle due Sezioni permise di raggiungere rapidamente una dimensione critica favorevole per la creazione di un ambiente culturalmente stimolante e, nei limiti dei comportamenti umani, sanamente competitivo.

Subito dopo il suo arrivo, nel 1961, era stato acquistato il primo calcolatore della Facoltà di Scienze MM.FF.NN., il calcolatore IBM 1620 a schede perforate, che fu affidato ad un gruppo di matematici applicati – anomalo nell'ambito di una Scuola di Matematica di altissimo prestigio scientifico ma in cui trovavano poco spazio i problemi del Calcolo Numerico –, che furono ospitati presso l'Istituto di Chimica. Questo gruppo, diretto dal prof. R. Vinciguerra, e storicamente formato da G. Occorsio, A. Murli, E. Russo, R. Balestrieri, M.R. Montone, e altri che si aggiunsero nel tempo, e con il contributo tecnico ed organizzativo di G. De Martino, gestì l'attività del calcolatore e fu il nucleo che, sotto l'egida del prof. C. Ciliberto, avrebbe in seguito dato origine al Centro Calcolo della Facoltà di Scienze della nostra Università.

Furono installate le apparecchiature per la registrazione dei diagrammi di diffrazione dei raggi X su cristallo singolo e su fibre per il prosieguo delle indagini strutturali sulle biomolecole, che erano parte della prima formazione scientifica di Liquori. Venne anche montato un diffrattometro ottico, da poco perfezionato dalla scuola di Lipson in Inghilterra, che divenne un potente ausilio didattico alla comprensione dei fenomeni della diffrazione e del concetto di trasformata molecolare, ma anche uno strumento molto utile per la risoluzione di problemi di ricerca, prima fra tutti per la derivazione di modelli di strutture elicoidali. Liquori, infatti, era ben attento alle novità metodologiche sia teoriche

che sperimentali. Era stato uno dei primi ad applicare la teoria della trasformata di Fourier di strutture elicoidali, da poco sviluppata da Cochran, Crick e Vand; teoria che utilizzò per la delucidazione della conformazione del poliisobutilene (4). A quell'epoca s'incominciavano ad intravedere le grandi potenzialità delle risonanze magnetiche, ed Egli invitò a Napoli un giovanissimo esperto americano, Jim Ferretti, che avrebbe in seguito dato importanti contributi allo sviluppo di questa metodologia e ricoperto per oltre un quarantennio il ruolo di *group leader* presso il National Institute of Health di Bethesda. A Napoli Ferretti si trattenne circa un anno e la sua presenza stimolò l'interesse di molti giovani e diede inizio alla formazione di numerosi esperti nel campo della risonanza magnetica nucleare in Italia.

Con sua sorpresa, Liquori aveva trovato a Napoli un microscopio elettronico, uno dei primi allora in commercio ed uno dei pochissimi presenti in Italia, giunto a Napoli tra le apparecchiature di ricerca comprese nel piano Marshall degli aiuti americani nel dopoguerra; il microscopio EM100 della Philips ora si trova presso il Museo delle Scienze della nostra Università. Il mio primo contatto con Alfonso è legato a questa apparecchiatura. Ero allora studente interno nel laboratorio diretto dal prof. Paolo Giordano Orsini dell'Istituto di Chimica Fisica; avevo da poco iniziato la preparazione di provini metallici, la cui superficie doveva essere studiata con il microscopio metallografico o, mediante repliche con opportuni materiali, al microscopio elettronico. Regnava nel laboratorio un clima di ansiosa attesa per i rivolgimenti che, prima la fine del prof. Beretta, Direttore dell'Istituto di Chimica Fisica, ed ora la malattia del prof. Giordani, Direttore dell'Istituto di Chimica Generale, facevano prevedere nell'ordinato, tranquillo scorrere della vita degli Istituti; ansiosa ma anche fiduciosa attesa di questo professore giovane, che era preceduto da una ottima fama di ricercatore, ma anche di uomo brillante. E Liquori già al primo impatto non deluse. Visitando il laboratorio dove avevo iniziato il mio lavoro di tesi, si interessò inizialmente a quello che stavamo facendo, ma poi, sul momento, ci prospettò una linea di ricerca completamente nuova. Ci parlò di un intrigante risultato da poco ottenuto da un ricercatore inglese A. Keller, che a Bristol era riuscito ad ottenere cristalli singoli di polietilene, il cui studio aveva rivelato aspetti del tutto nuovi e interessanti nel campo della organizzazione allo stato solido dei polimeri cristallini. L'entusiasmo con cui ci parlò dell'esperimento di Keller fu tale che, pure essendo un argomento del tutto nuovo per noi, iniziammo a studiare e a lavorare alacramente. Nel giro di pochi mesi avevamo ottenuto i primi interessanti risultati sui cristalli di polietilene ad alta densità e di polioisometilene; essi costituirono l'argomento del mio lavoro di tesi e furono poi pubblicati sul *Journal of Polymer Science* (5). Per la novità dell'argomento la tesi stessa ricevette un premio dall'ASSCHIMICI.

L'attività di ricerca di Liquori in quegli anni fu incredibilmente ricca e varia, abbracciando i campi più svariati, dalle proteine e acidi nucleici ai polimeri sintetici, dalle proprietà elettrochimiche di polimeri ionici in soluzione

e dei fenomeni di membrana (come processi termodinamici di non equilibrio), alla struttura di cristalli e ai sistemi modello per i processi di intercalazione nel DNA, alla predizione dell'impacchettamento più stabile dei cristalli molecolari e, più in generale, ai criteri che regolano la stabilizzazione della struttura di macromolecole sintetiche e biologiche. Malgrado la sua formazione iniziale di cristallografo, coltivò sempre un interesse particolare per la termodinamica applicata ai sistemi complessi e lontani dall'equilibrio, come è testimoniato da un libro da lui scritto sull'argomento e anche dal rapporto di viva amicizia con Ilya Prigogine, premio Nobel per la Chimica nel 1977, che spesso frequentò Napoli, tenne seminari e partecipò a discussioni di gruppo e tavole rotonde presso l'Istituto. Nell'Istituto trascorse anche lunghi periodi B. H. Lavenda, che aveva conseguito il Dottorato in Chimica presso l'Université Libre de Bruxelles con Ilya Prigogine in qualità di relatore.

Per rendersi conto della profondità del cambiamento avvenuto nell'attività di ricerca, è sufficiente dare una rapida scorsa ai lavori pubblicati in quel periodo, tutti su riviste internazionali ad alta diffusione e su argomenti di punta della ricerca scientifica. In un lavoro apparso su Nature, in occasione del cinquantésimo anniversario della doppia elica, intitolato *'Quiet Debut For The Double Helix'*, si sottolinea che, per circa dieci anni dopo la pubblicazione del lavoro di Watson e Crick, la doppia elica del DNA era stata citata, sorprendentemente, solo in pochissimi lavori scientifici. Uno di questi è firmato da A. M. Liquori (6) e da suoi collaboratori, a testimonianza della sua capacità di intuire le enormi potenzialità di una scoperta che forse non erano state ancora realizzate in pieno da una gran parte del mondo scientifico internazionale. Va anche ricordato che le caratteristiche strutturali della doppia elica furono diffuse a Napoli proprio da A. M. Liquori. Poco dopo il suo arrivo aveva ricevuto dalla Montecatini un grosso sacco pieno di palline di polietilene di circa due centimetri di diametro e variamente colorate in nero, blu, rosso, giallo: ricordo ancora le sere passate da alcuni di noi nell'officina dell'Istituto, lavorando al tornio ed altri macchinari per creare nelle palline fori secondo opportune orientazioni (2, 3 o 4 fori in ogni pallina a seconda del tipo di atomo che esse dovevano rappresentare), tagliando barrette della lunghezza giusta per simulare i legami chimici tra le palline, e costruire il modello tridimensionale della doppia elica; questo modello fu il primo disponibile per i ricercatori dell'area napoletana, e non solo.

Ma certamente il punto centrale della sua attività di ricerca fu l'avvio dei calcoli teorici semiempirici per la predizione della struttura di polimeri stereoregolari (7-9). I primi risultati, pubblicati insieme a De Santis, Giglio e Ripamonti, ebbero vasta risonanza; questo metodo fu quindi presto esteso alla predizione delle strutture delle catene polipeptidiche. Tuttavia l'importanza di quest'approccio era tale che, malgrado il diritto di primogenitura, la competizione internazionale divenne presto severissima, contando essa su gruppi di ricerca di antica tradizione, come ad esempio quello di Ramachandran in India, già da tempo molto noto nel campo scientifico anche per la

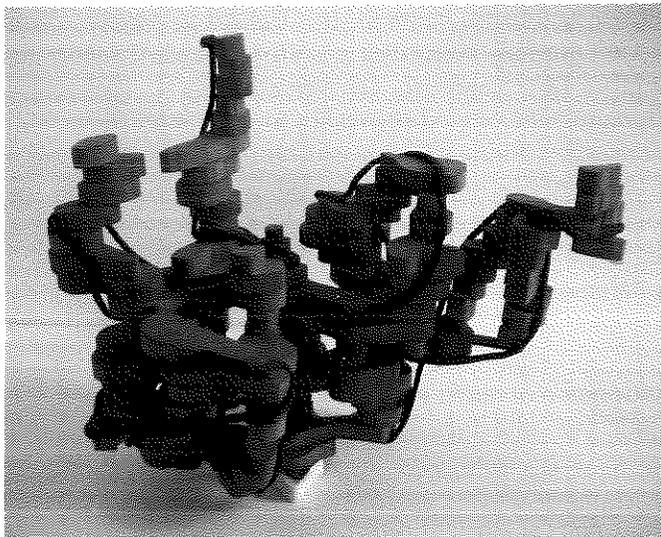
delucidazione della struttura del collagene, quelli di Scheraga e Nemethy in USA e di Flory, a cui verrà assegnato il premio Nobel nel 1975 per i contributi alla chimica fisica dei sistemi macromolecolari. Nel 1963 Ramachandran e collaboratori pubblicarono un grafico in cui erano indicate le preferenze conformazionali di una unità di-peptidica (10); il grafico diventerà famoso con il nome di “mappa di Ramachandran”, ed è ora universalmente utilizzato per riportare in forma compatta la distribuzione delle conformazioni dei singoli residui in una proteina. La mappa stessa era stata di fatto già calcolata a Napoli; ma in questo caso il ritardo nella pubblicazione dei risultati fu fatale, malgrado essa fosse stata discussa da Liquori in numerosi convegni (7). In un articolo su *Chemistry in Britain* del 1965 (11), il premio Nobel Max Perutz implicitamente riconosce a Liquori il merito scientifico di questo approccio teorico. Val la pena di ricordare le sue parole *“At first sight it is a formidable problem to try to predict the configuration of a polypeptide chain. First, Pauling and Corey showed that the amide group has 50 per cent double-bond character and that rotation about it is restricted. Consequently a polypeptide chain has almost planar amide groups hinged about the bond adjoining the α -carbon atoms. Rotation about these bonds is also limited since certain combinations of the angles lead to clashes between neighbouring atoms in the chain. A. M. Liquori made a systematic study of the stability of the chain for all possible variations of these angles. He assumed the attractive forces between non bonded atoms to be similar to those observed in gases... Using the appropriate functions he programmed a computer to work out the free energy of the chain for all possible configurations. To his great delight Liquori found that the map contained only four significant minima. One of these corresponded to the right-handed α -helix of Pauling and Corey and another, symmetrically related, to the left-handed α -helix; a third corresponded to the so-called polyproline structure, and the fourth to the so-called pleated sheet structure... The α -helix structure... appears to be held together by hydrogen-bonds... The importance of Liquori's results lies in the demonstration that these are not the only cohesive forces determining the stability of the structure. Van der Waals interactions are at least equally important... This allows us to understand why α -helices are formed in aqueous solution ...”*. Queste parole, scritte da uno scienziato che era direttore del laboratorio dove di fatto era nata la biologia strutturale e che si trovava al crocevia di tutti i risultati più rilevanti sulla struttura delle proteine, rappresentano una chiara testimonianza di primogenitura scientifica di un approccio teorico, che avrà uno sviluppo enorme nel campo delle indagini sulla struttura delle proteine e della predizione teorica *a priori* delle loro conformazioni preferite. Lo scritto di Perutz sottolinea inoltre l'importanza che egli assegnava ai risultati di Liquori anche in termini di quelle che erano le basi concettuali nuove nella descrizione della struttura delle proteine. E' sintomatico che i risultati di Liquori fossero discussi da Perutz come uno sviluppo dell'approccio di Pauling e nella completa dimenticanza dei contributi di altri ricercatori ed in particolare di Ramachandran, al cui solo nome verranno poi di

fatto associati. Anche se è giusto tenere in debito conto i risultati degli altri gruppi di ricerca, è indubbio che a Liquori va riconosciuto quanto meno un contributo importante nello sviluppo di questo approccio teorico. A conferma dell'autorevolezza acquisita, restano tra l'altro le regole di nomenclatura pubblicate in vari giornali scientifici e sottoscritte da Liquori insieme a J.T. Edsall, P.J. Flory, J.C. Kendrew, G. Nemethy, G.N. Ramachandran, H. A. Scheraga (12), regole che oggi si ritrovano, in parte modificate, su tutti i libri di testo di Biofisica, di Chimica Fisica e di Biochimica. In quest'ambito prese piede anche la formulazione di un codice stereochimico per i residui amminoacidici di una catena polipeptidica (13,14), che è stato in parte ripreso in letteratura negli anni più recenti; un modo semplificato per affrontare il problema, altamente complesso, della previsione del ripiegamento tridimensionale di una catena proteica, che resta a tutt'oggi – a distanza di cinquanta anni – largamente irrisolto, malgrado l'enorme sviluppo dei calcolatori elettronici e di nuovi e più sofisticati approcci teorici.

Riprendendo una intuizione di E. Schroedinger, Liquori introdusse anche il concetto di *molecola cristallo*, secondo cui una molecola di proteina può essere assimilata, per certi aspetti cooperativi, ad un cristallo senza periodicità (15,16). Cyrus Chothia, uno scienziato che lavora come *group leader* presso il Laboratory of Molecular Biology del Medical Research Council di Cambridge (UK), commentando questa definizione di Liquori in un intervento al Convegno della Divisione di Chimica Fisica della Società Chimica Italiana, tenuto a Napoli nel 2004, ebbe a dire *"This assertion was controversial when it was made nearly 40 years ago. Research that has been carried out since then, and which continues to the present day, has shown that this assertion is true and has profound implications for our current understanding of the structure, dynamics, function and evolution of proteins"*.

Anche se l'approccio teorico era diventato col tempo il motivo dominante della sua attività di ricerca nell'ambito delle proteine, egli guardava con estremo interesse ai successi dell'approccio sperimentale per la determinazione della struttura tridimensionale mediante diffrazione dei raggi X, che si erano da poco concretizzati presso il laboratorio del Medical Research Council di Cambridge. Sfruttando i suoi rapporti con il gruppo di Perutz ed una borsa di studio della fondazione Beneduce, ebbi la possibilità, poco dopo laureato, di trascorrere un anno a Cambridge dove lavorai con M. Perutz sulla determinazione della struttura tridimensionale della emoglobina umana ridotta. Purtroppo il trasferimento di Liquori a Roma ritardò di parecchio l'inizio a Napoli di un'attività di ricerca in questo campo; in un'epoca, in cui esistevano nel mondo solo tre o quattro centri di cristallografia sulla struttura di proteine, essa sarebbe stata di rilevante interesse scientifico e di grosso impatto promozionale nello sviluppo ulteriore della ricerca. Ciononostante, a questa lungimirante apertura di Liquori va certamente riconosciuto il merito del fatto che la prima struttura tridimensionale di una proteina in Italia fu ottenuta molti anni dopo presso

l'Istituto di Chimica della nostra Università e da me presentata alla prima scuola di Erice dedicata alle proteine e organizzata da M. Rossmann.

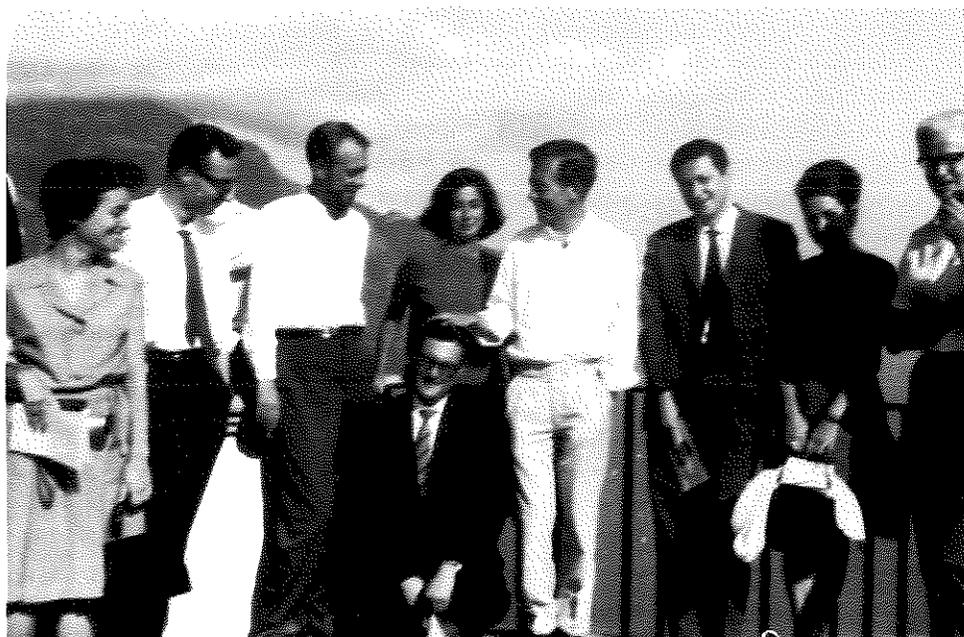


Storico modello in legno della densità elettronica a 5.5 Å di risoluzione dell'enzima omodimerico ribonucleasi bovina seminale, presentato alla Scuola di Erice del 1976 diretta da M. Rossmann, la prima dedicata alla struttura delle macromolecole biologiche.

Il periodo napoletano : i convegni

Questa intensa attività, tutta incentrata su argomenti caldi della nascente biologia molecolare, in sinergia con quella sviluppata dal Laboratorio Internazionale di Genetica e Biologia guidato da Adriano Buzzati Traverso, portò Napoli all'attenzione del mondo scientifico internazionale, come è testimoniato anche dagli eventi scientifici di grande rilevanza che a Napoli furono organizzati in quegli anni. In Villa Cimbrone a Ravello, dal 12 al 15 Settembre 1963, si tenne la prima NATO Summer School of Molecular Biology diretta da B. Pullman (Professore all'Università della Sorbonne, Parigi). Essa si tenne sotto gli auspici della Società Italiana di Fisica, del Consiglio Nazionale delle Ricerche e del Centre National des Recherches Scientifiques e fu organizzata da Liquori. Ad essa parteciparono allievi provenienti da quindici paesi. La Scuola comprendeva lezioni di alcuni degli esponenti più rappresentativi della chimica, della fisica e della biologia negli Stati Uniti ed in Europa: C. Levinthal (MIT), A.M. Liquori, F. Lipmann (Premio Nobel), M. Perutz (Premio Nobel), B. Pullman, C. Sadron, J.D. Watson (Premio Nobel), e seminari altamente specializzati in cui furono esposti da B. Pullman e da P. Lowdin i primi timidi passi applicativi dei metodi quantistici ai

complessi sistemi biologici. Davanti a questa platea di assoluto prestigio, Liquori ebbe modo di spiegare in dettaglio le metodologie di calcolo adottate ed i risultati ottenuti per la predizione teorica delle conformazioni di polipeptidi sintetici, passo iniziale per quello più ambizioso della predizione della struttura terziaria di proteine.



Alfonso Maria Liquori alla scuola estiva di Ravello (settembre 1963).

In sequenza da destra appaiono J. Kendrew, G. Cucinotta, V. Crescenzi, A. M. Liquori, M. Savino, J. D. Watson, F. Quadrifoglio, M. D'Alagni e, in ginocchio, V. Vitagliano

Al termine della Scuola, nei giorni 16 e 17 Settembre, si coagulò una ristretta riunione formata da 25 scienziati, alcuni già presenti a Ravello, altri che avevano nel frattempo raggiunto la sede della Scuola, per discutere e mettere in fase operativa uno schema di collaborazione europea nell'ambito della Biologia Molecolare. In questa riunione si decise di creare una Organizzazione Europea per la Biologia Molecolare (EMBO), le cui attività, sostenute fin dall'inizio dal CERN, oggi sono coordinate dal laboratorio di Heidelberg. A Ravello il gruppo di scienziati elesse un primo consiglio esecutivo composto da ricercatori con diversa estrazione scientifica. I membri di questo primo consiglio EMBO, che comprendeva due italiani, furono M. Perutz (Presidente), J. Brachet, A. Butenandt, A. Buzzati-Traverso, A. Engstroem, H. Friedrich-Freksa, F. Jacob, E. Katchalski, E. Kellenberger, J. Kendrew, A. Liquori, O. Maaløe, C. Sadron, A. Tiselius, J. Wyman. Le finalità dell'organizzazione non erano rivolte alla promozione in Europa della biologia come specifica disciplina, ma piuttosto

come una “scienza delle scienze”, nel senso auspicato a suo tempo dal fisico J. D. Bernal. In accordo con questo obiettivo, l’EMBO ha svolto negli anni successivi un ruolo fondamentale nel favorire scambi tra scienziati con le più svariate competenze scientifiche e nel promuovere una formazione interdisciplinare fortemente innovativa di un vasto numero di giovani ricercatori in Europa, in grado di coniugare con facilità aspetti fondamentali di discipline quali Matematica, Fisica, Chimica e Biologia.

Questo periodo di splendida attività e di gratificanti riconoscimenti internazionali sfocerà poi in un prestigioso convegno, intitolato “Discussion on the structure of biological and synthetic macromolecules”, organizzato nei giorni 13-16 settembre del 1965 nella stupenda cornice di Villa Cimbrone a Ravello, sponsorizzato dal Centro Nazionale di Chimica delle Macromolecole del C.N.R., al quale parteciparono circa ottanta ricercatori. A. M. Liquori riuscì nell’ambizioso progetto di riunire i principali ricercatori che si interessavano alla struttura e funzione di macromolecole biologiche e sintetiche, e a mettere insieme nella stessa aula, credo per la prima volta, Giulio Natta, Francis Crick, John Kendrew, Aaron Klug, Jacques Monod, Maurice Wilkins, tutti premi Nobel, ma anche tanti altri scienziati prestigiosi che lavoravano nel campo delle macromolecole sintetiche o biologiche, spesso con scarsa osmosi interna tra i due campi di ricerca. Nella lettera di invito a F. Crick, Liquori scrive: *The main purpose of this discussion should be to catalyze an efficient exchange of ideas among scientists operating within the “two cultures” of macromolecular science. There will be three or four one-hour lectures each day, so that a large amount of time will be available for informal discussion.* In questa frase sono condensati due degli aspetti tipici di Liquori: la ricerca continua della interdisciplinarietà e la passione per la discussione critica e lo scambio di idee anche contrapposte, considerate entrambe come il sale della ricerca e della progressione della scienza.

Va sottolineato che, anche in questo caso, la realizzazione del convegno era stato facilitato dal fatto che esso era stato preceduto a Napoli da un altro importante Simposio, dal titolo “Biological System at the Molecular Level”, promosso dalla Commission on Molecular Biophysics of the International Organization for Pure and Applied Biophysics. Il Simposio si tenne nei giorni 8-11 settembre presso il Teatro Mediterraneo della Mostra d’Oltremare, sotto gli auspici del Laboratorio Internazionale di Genetica e Biofisica (LIGB) e con la organizzazione logistica del direttore A. Buzzati-Traverso. Il Simposio riscosse un fortissimo successo, come testimoniato dal resoconto altamente positivo pubblicato su Nature (B. Askonas e altri, Nature, 1965, 208, 1048-1050). Quasi in una specie di staffetta, alcuni scienziati parteciparono ad entrambi i convegni, altri solo a quello di Napoli (G. N. Ramchandran, D. Phillips, G. M. Edelman, F. Jacob, H. K. Schachman, J. Brachet, A. Monroy, ecc.), ed altri ancora solo a quello di Ravello (M. Wilkins, A. Klug, G. Natta, ecc.). Al Simposio parteciparono 241 ricercatori provenienti da 19 paesi, di cui ben 59 italiani, la maggior parte dei quali lavoravano presso LIGB e presso

l'Università di Napoli. Da questi dati emergono chiaramente l'importanza del ruolo che Napoli era venuta assumendo nell'ambito della nascente Biologia Molecolare e l'indiscusso beneficio che ne derivava per gli studenti ed i giovani ricercatori della nostra Università, che avevano la possibilità di trovarsi al cospetto dei grandi ricercatori internazionali che stavano costruendo questa nuova disciplina. Nei quattro giorni del Simposio si tennero otto conferenze generali, di cui una sola tenuta da un ricercatore italiano. Nel primo giorno, sotto la presidenza di Scheraga, si svolse un puntuale confronto dei metodi teorici per lo studio delle conformazioni dei polipeptidi, con una successione di interventi di tutti i più importanti ricercatori che si interessavano dell'argomento (Lifson, Ramachandran, Nemethy e Liquori); nel resoconto dettagliato pubblicato su *Nature* si ricorda il carattere pionieristico del lavoro di Liquori. A sottolineare l'importanza del Simposio, va ricordato che tra gli altri interventi, tutti di grosso rilievo scientifico, nel terzo giorno, sotto la presidenza di Jacob, fu tenuto a battesimo il celebre modello degli enzimi allosterici, che era stato pubblicato in quell'anno sul *Journal of Molecular Biology*, con una successione di interventi di Wyman, Monod e Schachman.

Gli anni '60 però non erano a Napoli anni del tutto favorevoli ad uno sviluppo scientifico così fortemente innovativo. Certamente il potere politico e gestionale era ben lungi dal prestare la dovuta attenzione a questo risveglio scientifico, creando in tal modo una pericolosa spaccatura che avrebbe fortemente limitato la capacità di raccogliere in pieno i frutti in termini di sviluppo sociale. Ad esempio, in relazione al Simposio tenuto a Napoli, è certamente emblematico che gli organizzatori abbiano notato ed esplicitamente scritto in un Report, l'assenza del Sindaco e del Vice Sindaco al ricevimento ufficiale dei partecipanti, organizzato dalla Città di Napoli nel Palazzo Reale. Un episodio che, pur nella sua relativa importanza, indica tuttavia il totale disinteresse degli amministratori per un evento così prestigioso che si svolgeva nella città di Napoli, ma anche la mancanza di cortesia verso ospiti di grande rilievo scientifico, in cui erano compresi vari premi Nobel. Viceversa, nello stesso Report, si sottolinea anche l'ospitalità di numerosi partecipanti napoletani, che avevano organizzato riunioni serali nelle loro abitazioni private, fornendo così opportunità per ulteriori, considerevoli scambi scientifici informali.

Alla scarsa attenzione dell'ambiente politico si aggiunse anche in certi casi una forte resistenza, se non addirittura netta opposizione, di alcune delle forze più conservatrici dello stesso ambiente accademico, che ridusse lo spazio di manovra nell'Università. Liquori e altri professori della Facoltà di Scienze ritennero che, per valorizzare ulteriormente e ampliare i centri di ricerca del CNR, dovessero costruire un'area di ricerca fuori dall'Università, sperando di governare le sinergie fra le due istituzioni. La collocazione, in poche e lontane palazzine d'abitazione di Arco Felice, e i timori che la migliore ricerca fosse trascinata lontano dall'Università crearono una serie di incomprensioni e di scontri con il movimento degli studenti e con molti giovani docenti. Purtroppo,

di nuovo, l'insipienza delle autorità politiche di allora e le gelosie accademiche segnarono pesantemente la nascita dell'Area di Ricerca e aprirono, nei rapporti con l'Università, un solco sempre più profondo che non sarà mai completamente colmato.

Il periodo romano

Quando nel 1967, in seguito alla vacanza della Cattedra di Chimica Fisica a Roma, Alfonso Maria Liquori si convinse a trasferirvisi, portando con sé, come si usava allora, molti assistenti e tutti i ricercatori della Sezione III del Centro Nazionale di Chimica delle Macromolecole che lui dirigeva, vari motivi devono aver pesato sulla sua scelta, ma certamente deve aver influito anche la parziale delusione del modo in cui veniva realizzandosi l'Area di Ricerca e delle polemiche che essa aveva provocato. Riguardo a questo, egli infatti ha scritto: *"purtroppo, la convergenza fra due opposizioni, l'una scontata guidata dai più retrivi centri di potere del mondo accademico e politico della Napoli di quegli anni, e l'altra completamente inaspettata, proveniente dalla contestazione rozza e irrazionale, fecero fallire il progetto, almeno nei termini in cui l'avevamo concepito"*. In questa frase, scritta molto più in là negli anni, è condensata anche tutta l'amarezza che dovette certamente provare, e forte, quando alla Sapienza a Roma, i tempi drammaticamente mutati, la contestazione studentesca ed il diverso rapporto che si veniva sviluppando nelle gerarchie universitarie gli resero impossibile la ripetizione di quella splendida esperienza creativa che gli era riuscita, quasi facilmente, a Napoli. Una persona, che sentiva con forza le esigenze di impegno civile e che per affermarle aveva pure impegnato gli anni preziosi della sua giovinezza, ora che aveva raggiunto la piena maturità per dedicarsi alla delucidazione degli aspetti scientifici più caldi ed attuali, non poteva non considerare negativamente, né poteva comprendere o giustificare, una contestazione che sfasciava tutto e, sulla base di una non meglio giustificata responsabilità oggettiva, finiva per accomunarlo proprio a quei centri di potere accademici e politici che aveva sempre combattuto.

Quando era ancora a Napoli, Liquori aveva anche contribuito a convincere Alberto Monroy, embriologo di fama mondiale, a trasferirsi dall'Università di Palermo a Napoli per contribuire con il suo prestigio scientifico a formare quella massa critica che avrebbe potuto fare di Napoli un grande polo scientifico. Monroy si stabilì finalmente a Napoli nel 1967, quando ormai Liquori era già trasferito a Roma forse anche *spinto* – come egli ebbe a scrivere – *dal suo acuto bisogno di mobilità e di precarietà*. Mobilità e precarietà saranno infatti le caratteristiche fondamentali della sua vita, fino a quando problemi di salute non lo costringeranno ad una vita relativamente più tranquilla presso l'Università di Tor Vergata. Va detto per inciso che, malgrado il trasferimento a Roma, Liquori e Monroy diedero il via a diverse iniziative e

manifestazioni scientifiche ed ebbero anche fecondi contatti di lavoro presso la Stazione Zoologica, di cui A. Monroy era diventato Direttore; in particolare i due scienziati svilupparono un'attiva collaborazione sugli aspetti termodinamico-cinetici dello sviluppo iniziale di un uovo fecondato del riccio di mare e dell'interazione tra uovo e spermatozoo di un organismo marino in acqua di mare (18). Nel primo periodo romano Liquori aveva intensificato i suoi rapporti anche con il gruppo di biologi francesi J. Monod, F. Jacob e J.P. Changeux, che di recente avevano ricevuto il premio Nobel per la Medicina; nel 1967-68, su proposta di J. Monod fu chiamato a ricoprire la cattedra Einstein al College de France di Parigi.

Il distacco dalla ricerca attiva, ma non proprio

Purtroppo la fragilità del suo fisico, segnato dalla tensione intellettuale degli anni precedenti, e forse la delusione di non riuscire a realizzare a Roma quanto aveva progettato, finirono per costringere Liquori ad una grave sosta nella sua attività e a rallentarla negli anni successivi. Ma il diminuire degli impegni pressanti quotidiani gli consentì di sviluppare appieno anche altre attività culturali e finanche impegni di carattere artistico, tra cui va ricordata la creazione di un certo numero di sculture presentate in una Mostra Personale. Quest'ultimo aspetto della sua attività non è sorprendente per chi ha conosciuto Liquori, uno scienziato che possedeva tra l'altro un'ottima educazione musicale e che più volte ha scritto e discusso delle relazioni reciproche tra arte e scienza. Riteneva che sia il bravo scienziato sia il bravo artista possono produrre cose valide e originali solo rispettando il complesso equilibrio fra immaginazione e rigore, e che *“uno scienziato privo di immaginazione sarà, però, uno scienziato mediocre e un'artista privo di razionalità sarà un artista pasticcione”*. Gli scienziati che maggiormente attraevano la sua ammirazione erano quelli che avevano anche sviluppato spiccate attitudini artistiche. Non a caso, nella galleria dei personaggi di cui ha scritto, si trova Alexander Borodin, uno del gruppo dei cinque musicisti di Pietroburgo, forse quello che, sebbene meno noto di Musorgskij, ha esercitato la maggiore influenza sugli sviluppi successivi della musica russa: l'autore de *Il Principe Ygor* fu un importante chimico che lavorò in contatto con Mendeleev e nel 1861 soggiornò a Pisa, presso il laboratorio di quel Sebastiano De Luca che ho prima citato quale fondatore dell'Istituto di Chimica della nostra Università.

A Napoli Liquori mantenne sempre costanti rapporti con l'Istituto Italiano di Studi Filosofici e di stretta amicizia con il suo fondatore Avv. Gerardo Marotta, che aveva curato anche la pubblicazione del suo libro *“Termodinamica e Sistemi Complessi”*. Nella sede di questo Istituto, e con il supporto della Università di Napoli “Federico II”, nel novembre del 1986, B. Pispisa e L. Mazzarella, insieme ad altri ex-collaboratori, promossero un breve convegno

scientifico internazionale, dal titolo “Cristalli, Geni e Macromolecole”, per onorare i sessanta anni di Liquori. Le conferenze plenarie furono tenute da Max Perutz, Ilya Prigogine e George Nemethy. All’inizio del convegno i Chairmen, Alessandro Ballio e Alberto Monroy presentarono un libro dal titolo “From revolution to evolution” che raccoglieva numerosi articoli scientifici di docenti e ricercatori italiani e stranieri dedicati a Liquori e che comprendeva, tra gli altri, contributi di U. Colombo, presidente dell’ENEA, U. Bianchi, H.M. Hamaka, H. Mark, M.F. Perutz, A. Di Meo, H.A. Scheraga.

Accanto alla traduzione del testo di termodinamica di Lewis e Randall e dei libri di Ilya Prigogine, Liquori sviluppò una notevole attività divulgativa e pubblicistica, in cui era maestro e da cui emerge tutta la sua profonda cultura. Molti di questi interventi sono raccolti nel libro “*L’Avventura Scientifica*”, che, come ebbe a scrivere Russo Giovanni nel recensirlo sul Corriere della Sera (1993), “*oltre ad avere un grande valore educativo, è il contributo di uno dei nostri più valenti scienziati al dibattito sul ruolo della scienza in una società che tende sempre di più a dimenticare l’importanza dei valori umani, sacrificandoli a una falsa idea del progresso scientifico*”. Spunti per un dibattito tra arte e scienza si possono anche trovare in un altro libro dal titolo “*Etica ed estetica della scienza*”. Pur mantenendo rapporti saltuari con i suoi vecchi collaboratori, sparsi ormai per l’Italia (a Roma, Napoli, Bologna, Trieste), le sue ricerche si indirizzarono, a partire dagli anni '80, sempre più verso la biologia teorica, ma anche su alcuni aspetti applicativi riguardanti le alghe del Tirreno e della laguna di Venezia diretti a combinare la soluzione di un problema ambientale con un processo produttivo. Queste attività, avviate in età ormai avanzata, sono un esempio emblematico della forza trainante del suo carattere e della capacità che aveva di risollevarsi a nuovi interessi, che iniziava a coltivare con l’entusiasmo di un ricercatore alle prime armi. Grande impegno infatti dedicò al International Center for Theoretical Biology, che aveva fondato a Venezia. Dopo una vita trascorsa a lottare, tra l’altro, contro gli ottusi tentacoli della burocrazia italiana, si era in parte arreso. *Per molti aspetti, diceva, facendo solo attività teorica ci si difende meglio*; ma, a parte queste giustificazioni garbatamente pessimistiche, egli si rendeva conto della enorme necessità di lavoro teorico per l’analisi e la predizione di strutture molecolari complesse o per lo sviluppo di algoritmi matematici necessari per l’allineamento di sequenze geniche o per lo studio delle relazioni tra struttura spaziale e sequenza. Ma, anche un po’ in contraddizione con quanto aveva asserito, si tuffò di nuovo anche in problemi sperimentali, intrattenne infatti una stretta collaborazione con l’Istituto di Chimica e Tecnologia dei Polimeri del CNR di Pozzuoli diretto da Ezio Martuscelli, ed in particolare con il gruppo di ricerca di cui è responsabile Mario Malinconico, svolgendo un’attività fortemente stimolante per l’avvio di una ricerca su biomateriali altamente innovativi e con elevate prospettive di sviluppo. Trovo particolarmente illuminanti della figura di quest’ultimo Liquori e del suo continuo riproporsi in nuovi progetti, le parole che mi ha inviato Mario Malinconico a testimonianza del ruolo da lui esercitato in questo

innovativo progetto scientifico: *“Alfonso Maria Liquori amava il mare, e spesso andavamo a Baia, sul porto, a mangiare uno spaghetti ai frutti di mare (io mangiavo, lui sbocconcellava e beveva un sorso di falanghina), e a parlare di alghe, di polimeri, di termodinamica, e di barche e navi. L'ultimo sogno della sua avventura scientifica è stato il progetto di una nave per la raccolta e la prima trasformazione, durante il trasporto, di alghe Ulva mediterranee per la produzione di prodotti di chimica fine. Noi al CNR, dal 1992 al 1998, avevamo il compito di valorizzare i polisaccaridi filmogeni e la componente fibrosa per la realizzazione di biofilm e biocompositi. In laboratorio a Pozzuoli iniziarono ad arrivare chili e chili di alghe da seccare, estrarre e lavorare in estrusione. Alfonso seguiva tutto, entrava in laboratorio e metteva in sospensione, precipitava, decolorava. Uno spettacolo, eravamo innamorati di questo studioso che aveva percorso la chimica mondiale del dopoguerra e a 70 anni manteneva una curiosità scientifica, filosofica, morale contagiosa, e una signorilità d'altri tempi, unita ad una grande arguzia e elegante spiritosaggine. Devo molto a lui, mi ha aperto al mondo dei polimeri naturali che costituisce ancora oggi, per me e per l'Istituto di Chimica e Tecnologia dei Polimeri del CNR di Pozzuoli, una fonte inesauribile di ricerche e di risultati prestigiosi. Da ultimo, come al solito, Alfonso ha precorso i tempi, oggi i polisaccaridi termoplastici rappresentano per l'industria italiana delle plastiche l'ultima grande innovazione che il mondo ci invidia.”*

Ritrovo in questa bella testimonianza di Mario Malinconico quello che ritengo sia l'aspetto più coinvolgente della vita scientifica di Liquori. A parte il valore delle linee di ricerca che aveva attivato, l'aspetto più impalpabile, ma di grosso valore sociale ed umano, è infatti rappresentato dalla sua singolare capacità, manifestatasi sin da quando era giovane professore, di creare un contesto ambientale estremamente stimolante e competitivo in cui i giovani, spesso ancora studenti, venivano coinvolti in un processo scientifico altamente aggiornato e potevano frequentemente confrontarsi, e magari trovarsi insieme nella stessa aula, con coloro che nel mondo ne rappresentavano le punte di sviluppo più avanzate. Questo tratto della sua personalità, non misurabile da nessun moderno indice di impatto o altro, lo ha contrassegnato per tutta la sua vita.

Termino qui, anche se mi rendo conto di aver ricordato solo in parte il grande contributo di idee, di interesse verso nuove conoscenze, che ha sempre animato il prof. Liquori e di aver sorvolato su tanti altri riconoscimenti ed attestazioni di stima da parte di scienziati di tutto il mondo; tra essi voglio almeno ricordare quelli del premio Nobel Rita Levi-Montalcini, che scrisse la presentazione del libro *“L'Avventura Scientifica”*. Gentile e profondamente umano, Alfonso Liquori ha sempre suscitato ammirazione per l'affabilità e la disponibilità con cui, ormai anziano, si intratteneva con i giovani. Non era un uomo di potere: non ha mai saputo, né voluto, costruire un solo filo di quella fitta rete di legami che permette lo scambio incrociato di favori e rappresenta spesso la via obbligata per acquisire potere. E' sempre rimasto un uomo integro

e libero. E anche per questo merita tutta la giusta ammirazione di quanti hanno avuto la ventura di conoscerlo. Ma, soprattutto, a me piace ricordarlo andando indietro nel tempo per soffermarmi con la mente su quello, ormai lontano, splendido periodo napoletano, quando, nel giro di pochissimi anni, svolse un'attività promotrice e creativa che per intensità e livello culturale trova difficilmente riscontro in altri laboratori.

Bibliografia

(La bibliografia di A.M. Liquori è molto vasta, quella qui riportata riguarda solo alcuni lavori, esplicitamente citati nel testo, che identificano aspetti salienti della sua attività)

- 1 Perutz, M.F. Liquori, A.M., Eirich, F. (1951) *X-Ray and Solubility Studies of the Haemoglobin of Sickle-Cell Anaemia Patients*, Nature, 167, 929
- 2 Liquori, A. M. (1951) *Presence of Foetal Haemoglobin in Cooley's Anaemia*, Nature, 167, 950
- 3 Hamelka, H. F., Liquori, A.M. (1958) *Some Considerations on the Dipole Moments of Azines*, J.Mol. Phys., 1, 9
- 4 Liquori, A.M. (1955) *Molecular configuration of Stretched Polyisobutylene*, Acta Cryst. 8, 345
- 5 Orsini, Giordano, P., Marchese, B., Mazzarella, L. (1963) *Morphology of polyethylene single crystals*, J. Polymer Science, A1, 1901
- 6 Ascoli, F., Botrè, C., Crescenzi, V., Liquori, A.M., Mele, A. (1959) *Influence of Counterion Association on the Configurational Stability of Deoxyribonucleic Acid in Solution*, Nature, 184, 1482
- 7 Liquori A. M. (1961) *Analisi conformazionale di macromolecole lineari allo stato solido*, presentato al Corso di Chimica delle Macromolecole (Varenna, Villa Monastero)
vedi anche intervento (1961) alla Semaine d'étude sur le problème des macromolécules d'intérêt biologique, in Pontificiae Academiae Scientiarum Scripta Varia
- 8 a) De Santis, P., Giglio, E., Liquori, A.M., Ripamonti, A. (1962) *Conformational Analysis of Some Linear Polymers in the Solid State*, Nuovo Cimento, 26, 616
b) De Santis, P., Giglio, E., Liquori, A.M., Ripamonti, A., (1963) *Stability of Helical Conformations of Simple Linear Polymers*, J. Polymer Sci. A1, 1383
- 9 De Santis, P., Giglio, E., Liquori, A.M., Ripamonti, A. (1965) *Van der Waals Interaction and the Stability of Helical Polypeptide Chains*, Nature, 206, 456
- 10 Ramachandran, G. N., Ranakrishnan, C., Sasisekharan, V. (1963) *Stereochemistry of Polypeptide Chain Configurations* (1963) J. Mol. Biol. 7, 95
- 11 Perutz, M. F. (1965) *The Anatomy of Haemoglobin*. Chemistry in Britain, 1, 9-14

- 12 Edsall, J. T., Flory, P. J., Kendrew, J. C., Liquori, A.M., Nemethy, G., Ramachandran, G. N., Scheraga, H. A. *A Proposal of Standard Conventions and Nomenclature for the Description of Polypeptide Conformation*, J.Mol. Biol., 15, 339, J.Biol. Chem. 241, Biopolymer, 4, 121
- 13 Liquori, A.M., De Santis, P., Kovacs, A., Mazzarella, L. (1966) *Stereochemical Code of Aminoacid Residues: the Molecular Conformation of Gramicidine S*, Nature, 211, 5053
- 14 Liquori, A. M. *Stereochemical Coding of a Polypeptide Chain*, (1967) "Symposium of Fibrous Proteins", Butterworths, Australia
- 15 Liquori, A.M., (1967) *Macromolecules as Information Storage System* in "Stereochemistry of Macromolecules"- Ed. A. D. Ketley M. Dekker, New York
- 16 Liquori, A.M., (1969) *The Stereochemical Code and Logic of a protein Molecule*, Quart. Rev. Biophysics, 2, 65
- 17 Liquori, A.M., (1969) *Stereochemical Code of Amino Acid Residues in Polypeptides and Proteins*, Nobel Symposium 11 on Symmetry and Function of Biological System at Macromolecular Level. Stockholm 1968, Almquist & Wiksell Stockholm, Wiley Interscience Division, John Wiley & Sons, Inc. New York, London, Sydney
- 18 Elia, V., Rosati, F., Barone, G., Monroy A., Liquori, A. M., (1983), *A thermodynamic study of sperm-egg interaction*, The EMBO Journal, 2, 2053
- 19 Liquori, A.M. (1992) *L'avventura scientifica*, Sperling & Kupfer Editori, Milano
- 20 Liquori A.M. (1994) *Termodinamica e Sistemi Complessi*, Istituto Italiano per gli Studi Filosofici, La Città del Sole, Napoli
- 21 Liquori A.M. (1996) *Entropia, Struttura, Informazione*, Istituto Italiano per gli Studi Filosofici, La Città del Sole, Napoli
- 22 Liquori, A.M. (2003) *Etica ed estetica della scienza*, Di Renzo Editore, Roma

.....

**PRODOTTI CEMENTIZI SUPPLEMENTARI E LORO MECCANISMO D'AZIONE
SUL CONTROLLO DELLA REAZIONE ALCALI-SILICE.**

**SUPPLEMENTARY CEMENTING MATERIALS AND THEIR EFFECT ON THE
CONTROL MECHANISM OF ALKALI-SILICA REACTION.**

Nota di Riccardo Sersale
(Adunanza del di 8 Giugno 2012)

Riassunto. Viene esaminata la funzione specifica che i prodotti cementizi supplementari esplicano nel controllo della dannosa espansione e fessurazione prodotte dalla reazione alcali-aggregato, precisando il relativo meccanismo di riduzione degli alcali disponibili. Si pone in luce che, in effetti, tutti o quasi tutti i prodotti cementizi supplementari sono idonei a compiere tale funzione, purché siano addizionati al clinker in congruo livello di rimpiazzo. Si segnala inoltre il complesso dei parametri che richiedono un aumento del livello di rimpiazzo, sottolineando che l'attitudine ad incorporare alcali appare strettamente legata al rapporto CaO/SiO_2 del prodotto supplementare prescelto.

Parole chiave: Prodotti cementizi supplementari. Azione sull'alcali reazione.

Abstract. This paper deals with the effect of supplementary cementing materials on the control expansion and cracking due to alkali aggregate reaction, clarifying the related reduction mechanism of the alkali available, too. It has been pointed out that mostly, if not all, supplementary cementing materials can be used in such a role, provided they are employed at a high enough replacement level. Factors requiring an increase of the replacement level are also indicated, emphasizing that the ability of supplementary cementing material to bind alkalis appears to be strongly related to their CaO/SiO_2 ratio.

Key words: Supplementary cementing materials. Effect on alkali-silica reaction.

In una precedente Nota (1) è stato sottolineato l'effetto mitigante sulla reazione alcali-silice, operato dal taglio del clinker di Portland con prodotti cementizi supplementari. Particolare attenzione è stata riservata all'impiego di zeoliti e zeolititi quali prodotti di rimpiazzo del clinker, analizzando altresì la validità dei metodi proposti per accertare l'idoneità dell'aggregato prescelto alla formulazione del calcestruzzo.

Questa Nota si propone invece di chiarire il meccanismo che presiede alla mitigazione dell'espansione e fessurazione che fa seguito alla dannosa reazione, nonché di precisare la quantità ottimale di prodotto cementizio supplementare da aggiungere al clinker, per un'efficace controllo della reazione alcali-silice.

Meccanismo della reazione.

Già Stanton nel 1940 (2) pose in luce che la dannosa reazione decorre se il cemento Portland reca una sufficiente quantità di alcali e se l'aggregato reca silice reattiva, ma anche che l'espansione si riduce quando si impiega un cemento pozzolanico (2).

Oggi non è difficile reperire cementi Portland con discrete quantità di alcali, per effetto del riciclaggio dei fumi nei forni a cemento, imposto da ragioni ecologiche, né d'imbattersi in aggregati, spesso reperiti sul posto e poco studiati, che possono recare discrete quantità di silice

reattiva o quarzo tensionato. Sicché cercare di controllare la reazione alcali-aggregato nei calcestruzzi, mediante impiego di prodotti cementizi supplementari, diviene sempre più necessario. Il primo stadio del contatto è rappresentato dalla reazione fra ioni ossidrilici (OH^-) nella soluzione dei pori della pasta di cemento e la silice reattiva dell'aggregato. Tale silice non è direttamente attaccata dai cationi dei metalli alcalini (Na^+), (K^+). Inizialmente gli alcali favoriscono l'alta concentrazione di ioni ossidrilici in soluzione. Più tardi concorrono alla formazione di un gelo espansivo alcali-silice (3). Quando una silice idrata, scarsamente cristallina, viene attaccata da una soluzione alcalina concentrata, decorre la seguente reazione acido-basica fra ioni ossidrilici in soluzione e gruppi silanolici (Si-OH) :



La carica negativa degli atomi d'ossigeno terminali vengono bilanciati dai cationi alcalini (Na^+ e K^+) che simultaneamente diffondono nella struttura. La distruzione dei ponti silossanici indebolisce la struttura e, se disponibile una sufficiente quantità d'idrossido alcalino, il processo va avanti per produrre una soluzione di silicato alcalino. Grado e velocità di dissoluzione sono controllati dall'alcalinità della soluzione e dalla struttura della silice.

La solubilità di una silice poco cristallina od amorfa aumenta con il pH. Il valore più basso della concentrazione d'idrossido nella soluzione dei pori, atto ad innescare e sostenere la reazione alcali-silice nel calcestruzzo, non ancora è nota con precisione.

Il cemento Portland è la fonte principale di alcali nel calcestruzzo. Ma essa può anche esser accompagnata da altre specie chimiche (prodotti cementizi supplementari, aggregati, in alcuni casi, da fonti esterne: prodotti chimici antigelo).

Benché gli alcali costituiscano un modesto componente del cemento Portland (i livelli di alcali nel Nord America variano normalmente da 0.20 a 1.38% Na_2O eq.), essi dominano la soluzione dei pori della pasta di cemento e dopo il primo giorno d'idratazione alla temperatura ordinaria, tale soluzione diventa una soluzione di NaOH e KOH , con modesti livelli di altre specie ioniche disciolte. La concentrazione di NaOH e KOH nella soluzione dipende da diversi fattori, particolarmente da alcali recati dal cemento, dal grado d'idratazione e normalmente si aggira da 0.15 a 0.85 mol/l, corrispondente a valori di pH fra 13.2 e 13.9 (4).

In assenza di calcio, gli alcali e la silice rimarrebbero in soluzione, ma, nel caso del cemento Portland, abbondante quantità di calcio è presente come $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Pertanto quale prodotto iniziale di reazione si forma un gelo alcali-silice contenente quantità più basse di calce. Tale gelo è igroscopico, si imbeve di acqua dalla circostante soluzione dei pori, rigonfia e produce espansione volumetrica del calcestruzzo fino a rottura. Con il tempo, aumenta il contenuto di calcio nel gelo ed un'aliquota di alcali ritorna nella soluzione dei pori.

Grado d'espansione e danno conseguente del calcestruzzo dipendono da una pluralità di fattori: la disponibilità di alcali nel sistema, la natura e la quantità di silice reattiva recata dall'aggregato, la temperatura, l'umidità, la quantità e la distribuzione del rinforzo d'acciaio. La disponibilità di alcali costituisce l'unico di questi fattori ad esser influenzato dalla presenza di prodotti cementizi supplementari nel calcestruzzo.

Influenza del prodotto cementizio supplementare sugli alcali presenti.

Il meccanismo dominante secondo il quale i prodotti cementizi supplementari limitano l'espansione dovuta alla reazione alcali-silice risiede nella riduzione degli alcali contenuti nella soluzione dei pori della pasta di cemento, anche se tali prodotti supplementari recano, quasi tutti, alcali ed alcuni ne recano più di quelli del cemento Portland.

Gli alcali presenti nel calcestruzzo, rilasciati a seguito del processo d'idratazione del cemento, possono essere: disciolti nella soluzione dei pori, legati ai prodotti d'idratazione, incorporati nel

gelo alcali-silice. In assenza di aggregati reattivi non c'è reazione alcali-silice e la loro ripartizione fra soluzione dei pori e prodotti d'idratazione è una funzione della composizione del cemento.

Numerose ricerche hanno posto in luce che i prodotti cementizi supplementari hanno un notevole influsso sulla concentrazione di alcali nella soluzione dei pori (5). Ricerche sull'influenza delle ceneri volanti e della scoria d'alto forno nella soluzione dei pori della pasta di cemento hanno posto in luce che il rimpiazzo di clinker con il maggior numero di prodotti cementizi supplementari determina una riduzione della concentrazione d'idrossidi alcalini nella soluzione dei pori di tali paste, riduzione che cresce al crescere dei livelli di rimpiazzo (6).

La Fig. 1 mostra la concentrazione di ioni OH^- dopo due anni, in funzione del livello di sostituzione di prodotti cementizi supplementari.

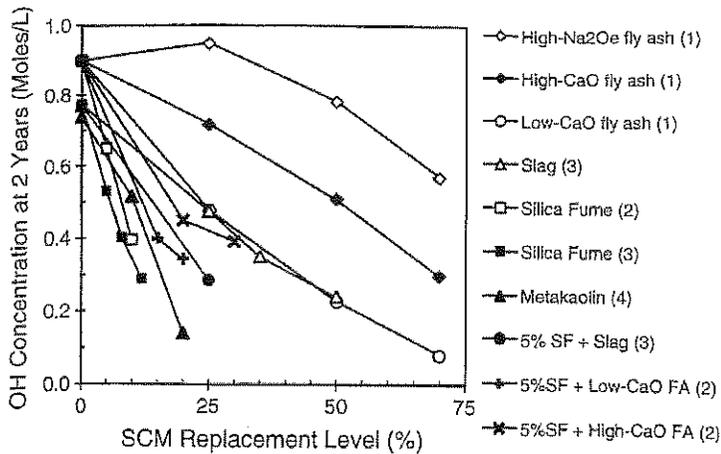


Fig. 1. Effetto del tipo di prodotto cementizio supplementare e del livello di rimpiazzo sulla concentrazione di ioni ossidrilici nella soluzione dei pori, dopo due anni (7).

Il fumo di silice è il più efficace in questo ruolo almeno inizialmente, seguito dal metacaolino, dalle ceneri volanti a basso tenore di calcio, dalla scoria d'alto forno, dalle ceneri volanti ad alto contenuto di calcio o di alcali. Gli ultimi sono meno efficaci e devono esser impiegati a livello di rimpiazzo relativamente alto, per determinare una significativa riduzione dell'alcalinità della soluzione.

Paste che recano il 10% di fumo di silice determinano un rapido crollo dell'alcalinità nel corso dei primi 28 giorni, che, pian piano, incomincia a crescere con il tempo dopo tre mesi. Un simile comportamento è stato osservato anche nelle paste contenenti 5% di fumo di silice (7). Tale fenomeno non è stato rilevato nelle paste contenenti tutti gli altri prodotti cementizi supplementari. L'incremento a lungo termine della concentrazione di ioni OH^- sembra esser ostacolato in paste contenenti il 5% di fumo di silice addizionate del 25% di scoria d'alto forno, oppure del 15% di cenere volante. Ciò lascia ipotizzare che il contenuto d'allumina del prodotto cementizio contribuisca in qualche modo ad impedire, di bel nuovo, il rilascio di alcali a lungo termine nella soluzione dei pori. È stato rilevato che introducendo nel C-S-H allumina, per formare C-A-S-H, decisamente aumenta la sua attitudine ad incorporare alcali e ciò, in parte, può giustificare la riduzione dell'alcalinità della soluzione dei pori, operata dai prodotti supplementari alluminosi, e la conseguente reazione alcali-silice.

L'attitudine dei prodotti supplementari ad abbassare l'alcalinità della soluzione dei pori della pasta di cemento è una conseguenza della loro vocazione a modificare composizione degli idrati neoformati, specialmente C-S-H, ed esaltare la loro disponibilità a fissare alcali. E' stato rilevato (9) che il C-S-H a basso rapporto Ca/Si è disponibile ad incorporare più alcali (Na + K) rispetto ai C-S-H a più alto rapporto Ca/Si. L'aggiunta di cenere volante abbassa il rapporto Ca/Si dei C-S-H e si registra un concomitante aumento del contenuto d'alcali. La sua idoneità a fissare alcali viene notevolmente aumentata con aggiunta d'allumina per formare C-A-S-H (8).

Sussiste una rilevante analogia fra reazione "pozzolanica" e reazione alcali-silice.

Nella soluzione dei pori della pasta di cemento, la silice reattiva della pozzolana reagisce prima con gli idrossidi alcalini e forma un gelo alcali-silice a basso contenuto di calcio. Con il passare del tempo, nel gelo avviene lo scambio del calcio con l'alcali e si forma un C-S-H a rapporto Ca/Si relativamente basso, se paragonato a quello che si forma nelle paste di cemento di solo Portland. Le uniche sostanziali differenze fra reazione "pozzolanica" e reazione alcali-silice risiedono nella gradualità con la quale decorre la reazione e l'assenza di ogni rilevante espansione attribuibile alla reazione "pozzolanica". Tale assenza si giustifica in base alla considerazione che le pozzolane sono prodotti assai finemente suddivisi. Il gelo alcali-silice si forma, ma la successiva conversione a C-S-H interessa l'intera pasta di cemento. La presenza di particelle di aggregato reattivo comporta invece l'accumulo di consistenti depositi di gelo alcali-silice che si raccolgono in zone costituite da singole unità che diventano siti di espansione.

Il ruolo delle dimensioni e della distribuzione della silice reattiva può esser verificato in due modi. E' noto sin dal lavoro base di Stanton (2) che se l'aggregato reattivo viene portato ad una finezza sufficiente (inferiore a 180 μ m nel lavoro citato), l'espansione viene eliminata. E' stato rilevato che il vetro Vycor, portato alla finezza di una sabbia (intorno a 100 μ m), si comporta come aggregato reattivo, producendo espansione e fessurazione di una malta. Al contrario, lo stesso prodotto macinato, si comporta come una pozzolana ed impedisce l'espansione, se addizionato al cemento Portland in ragione del 20%. Se una pozzolana finemente suddivisa viene agglomerata e forma particelle prossime ad una sabbia, esse si comportano come aggregato reattivo, generando espansione e fessurazione (10). Tale risultato è stato ottenuto, sia in laboratorio, che su campo, con fumo di silice agglomerato.

Per valutare l'attitudine di un prodotto supplementare a ridurre l'espansione, esistono differenti metodi di prova. La prova accelerata (1) rappresenta quella di gran lunga più usata, rivelandosi utile come mezzo di selezione, senza descrivere compiutamente la realtà, poiché l'alta temperatura prevista dalla prova non riproduce le condizioni ordinarie d'impiego dei calcestruzzi.

Fattori che incidono sulla quantità ottimale di rimpiazzo del clinker con prodotti cementizi supplementari.

Quasi ogni prodotto cementizio supplementare è idoneo a controllare l'espansione, purché venga addizionato in sufficiente ammontare. Esso ovviamente dipende dalla composizione, dal quantitativo di alcali recato dal cemento o da altre fonti, nel caso, ad esempio, che la struttura in servizio si trovi esposta ad acqua di mare, ad agenti disgelanti, nonché dalla reattività dell'aggregato.

Una vera pozzolana, ad alto tenore di vetro bolloso, ad esiguo tenore di alcali, a livello di rimpiazzo prossimo al 10%, lascia prevedere l'eliminazione dell'espansione prodotta da un aggregato moderatamente reattivo (4). Impiegando invece un cemento ad alto contenuto d'alcali ed un aggregato altamente reattivo, il livello di rimpiazzo deve invece salire al 60% o più, se il prodotto supplementare reca un contenuto d'alcali più alto e più basso contenuto di silice.

Con prove di laboratorio effettuate in accordo con la Norma ASTM 1293 (4), è risultato che fumo di silice e metacaolino risultano i più efficaci nella riduzione dell'espansione a due anni, seguiti dalla cenere volante a basso contenuto d'alcali. Scoria d'alto forno, ceneri volanti ad alto contenuto di calcio, ceneri volanti ad alto contenuto d'alcali, risultano meno efficaci e devono esser impiegati

a livello di rimpiazzo notevolmente alti, per contenere l'espansione a due anni al di sotto del 0.040%.

Generalmente l'effetto dei differenti prodotti cementizi supplementari sull'espansione di prismi di calcestruzzo si accorda con la loro azione sull'alcalinità della soluzione dei pori.

Ceneri volanti a moderato contenuto d'alcali (< 4% Na_2O eq.) e contenuto di calcio (<20% CaO) controllano efficacemente l'espansione al di sotto di 0.040% a due anni (5). Se il tenore di CaO supera il 20%, l'espansione nettamente aumenta al crescere di tale tenore. Ceneri volanti ad alto tenore d'alcali (5% Na_2O eq.), impiegate a livello di rimpiazzo intorno al 25%, controllano l'espansione indipendentemente dal contenuto di calcio della cenere.

La Fig. 2 pone in luce l'effetto degli alcali presenti nel calcestruzzo preparato con un cemento a contenuto di ceneri volanti, o fumo di silice, sul fenomeno d'espansione (7).

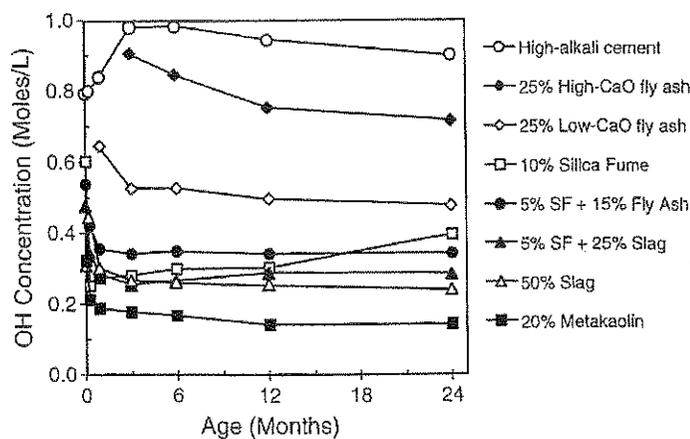


Fig.2. Evoluzione della soluzione dei pori delle paste di cemento contenenti i più ricorrenti prodotti cementizi supplementari (7).

Se cresce il contenuto d'alcali nella miscela sono necessari crescenti quantità di prodotto cementizio supplementare per mantenere l'espansione a livelli accettabili.

Per mantenere l'espansione al di sotto dello 0.040% a due anni, il tenore di scoria d'alto forno, o metacaolino, varia dal 35 al 50, in funzione del tipo e della reattività dell'aggregato. Un livello di rimpiazzo al di sotto del 20% di cenere volante, o del 7.5 % di fumo di silice, di cemento Portland è risultato assolutamente sufficiente (11) a mantenere l'espansione al di sotto dello 0.040%, impiegando aggregati reattivi che hanno prodotto un'espansione di 0.097% e 0.219%, se saggiate con 100% di cemento Portland. Né il 30% di rimpiazzo di clinker, né il 10% di fumo di silice si è rivelato sufficiente per portare l'espansione al di sotto del 0.040% per aggregati reattivi che, saggiate con 100% di cemento Portland, avevano prodotto un'espansione pari a 0.338%, anche se essa risultava molto ridotta: 0.051 e 0.046 %.

Per aggregati che, saggiate su cemento Portland, producevano la più forte espansione (0.386%), con il 30% di cenere volante di rimpiazzo del clinker, si è registrata ancora una notevole espansione (0.148%). Pertanto, l'ammontare di cenere volante richiesta, aumenta all'aumentare della reattività dell'aggregato, come posto in luce dall'espansione registrata dopo saggio con solo cemento Portland.

Conclusioni.

I prodotti cementizi supplementari costituiscono un mezzo efficace di controllo dell'espansione dovuta alla reazione alcali-aggregato e possono con successo esser utilizzati a questo scopo, purché addizionati al clinker ad un sufficiente livello di rimpiazzo.

Tale livello generalmente cresce con i seguenti parametri:

- se nel calcestruzzo vi sono significative quantità di alcali recati dall'aggregato (feldspati) o provenienti da fonti esterne;
- se aumentano gli alcali recati dal prodotto cementizio supplementare;
- se cresce la reattività dell'aggregato;
- se aumenta il rapporto CaO/SiO_2 nel prodotto cementizio supplementare.

Il prodotto cementizio supplementare mitiga l'alcali reazione principalmente riducendo la quantità di alcali che si rendono disponibili a reagire con l'aggregato. L'attitudine di tale prodotto ad incorporare alcali appare fortemente legata al suo rapporto CaO/SiO_2 .

I prodotti cementizi supplementari a basso contenuto d'alcali e di calcio, ricchi di silice, si dimostrano i più efficaci a ridurre l'alcalinità della soluzione dei pori della pasta di cemento e possono essere impiegati a livello di rimpiazzo di clinker relativamente basso per mitigare la dannosa espansione.

I prodotti cementizi supplementari che recano maggiori quantità di alcali e di calcio devono esser addizionati a più alti livelli di rimpiazzo.

Risulta che la presenza d'allumina giuoca un ruolo importante sull'attitudine dei prodotti cementizi supplementari ad incorporare alcali. Sulla base dei dati disponibili, tale ruolo non sembra però scontato.

In buona sostanza, il livello più basso di prodotto cementizio supplementare raccomandato varia con la sua composizione, con la reattività dell'aggregato, con il contenuto d'alcali del cemento Portland, con le condizioni della struttura in servizio.

Bibliografia.

1. Sersale R. Mitigazione della reazione alcali-aggregato (ASR) in malte e calcestruzzi di cemento. *Rend.Acc. Sc. Fis. Mat.*, Napoli, 78 (2011)
2. Stanton T E. Expansion of concrete through reaction between cement and aggregate. *Proc. Am. Soc. Civ. Eng.* 66, 10, 1781 (1940).
3. Thomas M. The effect of supplementary cementing materials on alkali-silica reaction. A review. *Cement Concrete Res.*, 41, 12, 1224 (2011).
4. Thomas M., Folliard K.J. Concrete Aggregates and the durability of concrete. In: C.I. Page, M. M. Page Eds. *Durability of concrete and cement composition*. Woodhead. Cambridge, 247, (2007).
5. Sheata M.H., Thomas M. The effect of fly ash composition on the expansion of concrete due to alkali-silica reaction. *Cement Concrete Res.* 30, 1063 (2000).
6. Thomas M., Bleszynski R.F. The use of silica fume to control expansion due to alkali-aggregate reactivity in concrete. A review. In: Mindess S., Skalny J. Eds. *Material Science of Concrete*. Amer. Ceramic Soc. Westerville OH, VI, 377 (2001).
7. Sheata M.H., Thomas M. Use of ternary blends containing silice fume and fly ash to suppress expansion due to alkali-silica reaction. *Cement Concrete Res.*, 32, 3, 341 (2002).
8. Hong S. Y., Glasser F.P. Alkali sorption by C-S-H and C-A-S-H gels. Role of alumina. Part. II. *Cement Concrete Res.* 32, 1101 (2002).

9. Bhatta M.S. Y., Greening N.R. Interaction of alkali with hydrating and hydrated calcium silicates. Proc. Fourth Int. Conf. On the Effects of Alkalis in Cement and Concrete. Purdue, 87, (1978).
10. Maas A.J., Idcker J.H., Juenger M. G. Alkali silica reactivity of agglomerated silica fume. Cement Concrete Res., 37, 166 (2007).
11. Fournier B., Nkinamubanzi P.C., Chevrier R. Comparative field and laboratory investigations on the use of supplementary cementing material to control alkali-silica reaction in concrete. In: Proc. 12th Int. Conferente Alkali-Aggregate Reaction. In: T. Mingshu D., Min D. Eds. Concrete V. Intern. Academic Publish. World Publish Corp., Beijing 258 (2004).

Leganti potenzialmente sostitutivi del cemento Portland. Recenti progressi e previsioni

Potential substitutes for Portland cement. Recent advancements and expectations

Nota del socio Riccardo Sersale

- Adunanza del di 9 Novembre 2012 -

Riassunto. Il proposito di ridurre del 20% le emissioni di CO₂ ed il fatto che la produzione, sempre crescente, del cemento Portland pesa per circa l'8% sulle attività industriali globali, sollecitano ad esaminare l'opportunità d'impiego di suoi possibili sostituti. Questa Nota studia composizione, meccanismo di reazione e comportamento tecnico di quattro leganti selezionati: cemento alluminoso, cemento solfoalluminoso, cemento soprasolfatato e legante alcali-attivato, che sembrano promettenti candidati alla sostituzione. Ne sottolinea i benefici rispetto al cemento Portland, talvolta gli svantaggi e gli ostacoli ancora da superare, nell'intento di apportare un contributo all'avvio a soluzione di un problema estremamente complesso.

Parole chiave: Leganti alternativi al cemento Portland.

Abstract. The design of reducing for 20% the environmental impact and the occasion that the increasing Portland cement manufacture corresponds to about 8% of the global anthropogenic CO₂ emissions, request an investigation on the use of potential substitutes. This paper studies composition, reaction mechanisms and technical behaviour of four selected binders, namely: calcium aluminate cement, calcium sulfoaluminate cement, supersulfated cement, alkali-activated binders, which appear promising candidates for substitution. Benefits in comparison to Portland cement, sometime the drawbacks and the hindrance to be outweighed are discussed, with the aim of contributing to solve an extremely complex question.

Key words: Alternative cementitious binders.

I moderni materiali da costruzione si basano essenzialmente sul cemento Portland, il prodotto più usato nel mondo, secondo, come consumo, solo all'acqua. Scoperto più di 175 anni fa, è divenuto il legante predominante nella preparazione dei calcestruzzi. Decantato per la sua versatilità, durabilità ed economicità, il calcestruzzo di cemento Portland ha ricevuto crescenti apprezzamenti per l'energia incorporata, relativamente bassa rispetto ad altri materiali da costruzione, come mostra la Fig. 1 e per l'attitudine ad incorporare prodotti di risulta, con riduzione dei costi dell'energia e dei trasporti. Poiché però ne sono prodotte assai notevoli quantità, la produzione di cemento Portland consuma normalmente 10-11 EJ di energia, all'incirca 2-3% dell'impiego totale di energia primaria (1).

Nel mondo ogni anno si produce una tonnellata di calcestruzzo pro-capite.

Durante la scorsa decade l'industria cementiera mondiale ha rivelato una crescita annuale del 7% o più (2). La produzione di cemento è aumentata da 1.16 miliardi di tonnellate nel 1990, a 3 miliardi di tonnellate nel 2008. Tale incremento è stato determinato da una forte crescita nei Paesi asiatici.

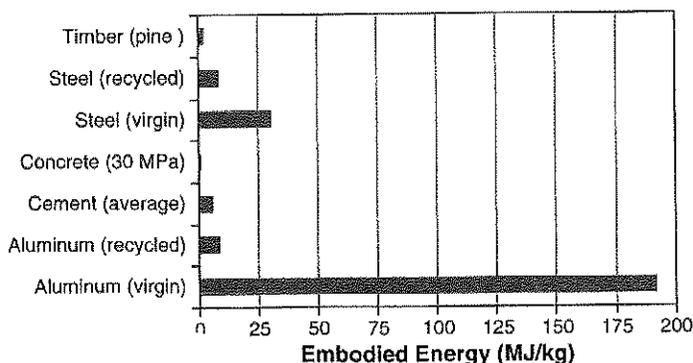


Fig.1. Energia incorporata da comuni materiali da costruzione.

Nel 2003 un terzo della produzione totale proveniva dalla Cina, una cifra che nel 2008 è cresciuta del 50%. La flessione nella produzione, determinata specialmente in Asia nel 2008 dalla crisi economica, si è però rapidamente ripresa. Per il 2013 è prevista una crescita annuale del 4.1%, ciò che porterebbe a 3.4 miliardi di tonnellate la produzione totale.

Questa notevole crescita crea un problema in fatto di sostenibilità, per effetto delle alte emissioni di CO₂ che si aggiungono ad altre attività antropiche.

Nel corso della cottura viene emesso biossido di carbonio tanto dalla miscela generatrice, quanto dal combustibile, cosicché ne vengono mediamente emesse circa 0.74 tonnellate per tonnellata di cemento, che pesano per circa l'8% sulle attività industriali globali.

L'industria cementiera ha purtroppo esaurito ogni possibilità di ridurre ulteriormente le emissioni di CO₂ che ingiuriano il clima per effetto serra (3), avendo provveduto a sostituire gli impianti obsoleti con tecnologie avanzate, ad aumentare l'impiego di prodotti cementizi supplementari per rimpiazzo del clinker, a mettere in pratica l'impiego di combustibili alternativi. Essa è perciò oggi sotto pressione per ridurre sia il consumo d'energia, che le emissioni di biossido di carbonio e per ricercare attivamente leganti alternativi al cemento Portland. C'è anche una spinta a ricercare nuovi materiali di risulta da impiegare come prodotti cementizi supplementari, poiché quelli tradizionali: ceneri volanti, scoria d'alto forno granulata, fumo di silice, sono già prodotti in quantità decrescente ed utilizzati a livelli di rimpiazzo medi del 50%. Si tenta pure di realizzare leganti interamente costituiti da prodotti di risulta.

Motivi supplementari per esplorare la produzione di cementi alternativi al Portland possono esser imposti da condizioni ambientali ad alta acidità e ad alta concentrazione di solfati, nonché dalla necessità di effettuare riparazioni rapide.

Per migliorare il comportamento del calcestruzzo, ridurre l'impatto ambientale, incorporare maggiori quantità di prodotti di risulta, si vanno perciò sviluppando nuovi leganti. Si affrontano ad un tempo questioni fondamentali, quali: tecnologie di processo, comportamento chimico-fisico, modalità di produzione e di utilizzazione, loro collocazione nelle Norme e nelle Specificazioni per le costruzioni, per vincere le difficoltà di accettazione nel settore costruttivo.

Questa Nota non esamina tutte le alternative possibili che si vanno sviluppando per sostituire il cemento Portland, ma approfondisce costituzione, proprietà ed applicazioni soltanto di quattro leganti che sembrano le più promettenti alternative al cemento Portland: il cemento alluminoso, il cemento solfoalluminoso, il cemento soprassolfato, i leganti alcali-attivati.

Cemento alluminoso.

Presenta alcuni vantaggi specifici rispetto al cemento Portland ordinario: più bassa emissione di CO_2 , rapido sviluppo di resistenza meccanica dopo la presa, alta resistenza all'abrasione, all'attacco solfatico ed alla reazione alcali-silice (4). Correntemente è impiegato nell'industria chimica, per pavimentazioni e malte ad alta resistenza. Benché sia stato sviluppato più di cento anni or sono, non è largamente usato come il Portland, per due fondamentali ragioni: il decorso di un processo di "conversione" con il tempo, che conduce ad aumento di porosità e decadimento di resistenza meccanica, il costo di produzione direttamente collegato alle limitate fonti di bauxite.

I Rendicont della Conferenza Centenaria del 2008 (5) forniscono specifiche informazioni sul processo d'idratazione, sulle proprietà meccaniche e volumetriche, sulla durabilità, sulle applicazioni nella chimica dei refrattari e sulle costruzioni, sull'impiego di fillers e polveri reattive. Viene sottolineato che l'attuale ricerca è generalmente orientata verso il decorso del comportamento meccanico e verso una migliore conoscenza della formazione degli idrati metastabili e stabili.

E' stato posto in luce (6) il notevole effetto della temperatura di stagionatura sui cambiamenti di volume a tempi brevi. Per stagionatura isoterma la formazione di idrati metastabili (principalmente CAH_{10}) risulta connessa a ritiro. Al contrario, la formazione di fasi stabili (principalmente C_3AH_6) risulta collegata ad espansione.

E' stato mostrato il migliore comportamento del cemento alluminoso rispetto al cemento Portland nel rivestimento di tunnel (7) (8). Una maggiore concentrazione di ioni alluminio, associato al livello di pH più basso prevalente nelle acque di rifiuto trasportate, impedisce la crescita di batteri, riducendo i danni nei rivestimenti a base di malta.

E' stato rilevato (9) che sistemi nei quali domina il cemento alluminoso sono volumetricamente più stabili di quelli in cemento Portland, per effetto dello sviluppo di resistenza a tempi brevi e di una microstruttura più densa. Viene anche segnalato (9) che il cemento alluminoso mostra migliore resistenza all'abrasione rispetto al Portland, un vantaggio per l'impiego nelle pavimentazioni.

E' stato posto in luce (10) che l'incorporazione di prodotti cementizi supplementari, in particolare scoria d'alto forno granulata e fumo di silice, lasciano più ampi spazi liberi e maggiore quantità di acqua che diventa disponibile per l'idratazione del CA. In sistemi a base di cemento alluminoso è stato pure sottolineato che l'impiego di un acceleratore (generalmente basato su Li_2SO_4) per regolare la presa, riduce l'idratazione del CA a brevi tempi ed abbassa lo sviluppo di resistenza, per l'aumento della formazione di idrati più densi e più stabili (C_3AH_6 e AH_3).

Tali risultati hanno significative ricadute sulle applicazioni del cemento alluminoso, poiché sembra che la perdita di resistenza, determinata dal processo di "conversione", possa almeno parzialmente esser mitigata con l'impiego di prodotti cementizi supplementari. Poiché però è riconosciuto che il processo di "conversione" è termodinamicamente inevitabile, la ricerca sottolinea che il modo migliore di operare quando si impiega un calcestruzzo a base di cemento alluminoso, è quello di redigere un progetto che tenga conto delle resistenze meccaniche più basse determinate dalla "conversione", piuttosto che di quelle massime, eliminando in tal modo i problemi che il decorso di tale processo pone a lungo termine.

Cemento solfoalluminoso.

Contiene yeelimite ($\text{C}_4\text{A}_3\text{SO}_4$) come costituente fondamentale per il 30-70%. Essa è entrata nelle fasi cementizie negli anni 60, quando venne brevettata da Alexander Klein per esser impiegata come addizione espansiva o regolatrice di contrazione ai leganti cementizi: composto di Klein (11). Tali cementi non sono largamente impiegati in Europa e negli Stati Uniti e sono stati prodotti, impiegati e normalizzati in Cina per circa 30 anni, dove sono conosciuti come "cementi della terza serie" (12). Sono stati impiegati nella preparazione di calcestruzzi per ponti, per condutture, per travi in calcestruzzo precompresso, per costruzioni a bassa temperatura e, per effetto della bassa

porosità, basso pH e per l'attitudine a legare metalli pesanti, anche per l'incorporazione di rifiuti nocivi.

Si conoscono due tipi di clinker: uno solfobelitico, contenente principalmente yeelemite e silicato bicalcico; l'altro, contenente principalmente yeelemite, alluminoferrito tetracalcico e belite. Vengono co-macinati con differenti tenori di solfato di calcio per ottenere rapido indurimento ed alta resistenza.

I clinkers solfoalluminosi stanno ricevendo particolare attenzione come possibile alternativa al clinker di Portland, in particolare per la bassa emissione di CO₂, la più bassa temperatura di cottura : 1230°C e la più agevole macinazione.

Per quanto attiene al processo di produzione, vale la stessa limitazione sottolineata per il cemento alluminoso: l'alto costo della bauxite.

Per aumentare la reattività della belite, responsabile dello sviluppo di resistenza a tempi più lunghi, devono essere addizionati componenti minori alla miscela generatrice del clinker.

In funzione del livello di addizione di solfato di calcio, che influenza cinetica d'idratazione e prodotti di neoformazione, può essere ottenuto sia un cemento con differenti proprietà, sia un cemento da miscelare con altri leganti, Portland compreso.

Poiché l'idratazione dipende principalmente dalla quantità e reattività del solfato di calcio addizionato, che determina il rapporto acqua/cemento richiesto per un'idratazione completa, in Cina è stata messa a punto una formula, basata su calcoli stechiometrici, che permette di determinare il tenore ottimale di solfato per ottenere i differenti tipi di cemento solfoalluminoso.

Le indagini microstrutturali (13) hanno principalmente posto in luce la presenza di aghi di ettringite che riempiono gli spazi liberi, insieme con monosolfato, idrossido d'alluminio e silicati di calcio idrati c/o stratlingite, costruendo una struttura molto densa ed a bassa porosità.

I tempi di presa dipendono dal contenuto di yeelemite, dal tipo e dal contenuto di fasi minori, dal tenore e dalla reattività del solfato di calcio aggiunto. I valori normalmente cadono fra 30 minuti e 4 ore. Generalmente vengono raggiunte resistenze più alte del cemento Portland, a brevi e lunghe scadenze.

Poiché normalmente si impiega un rapporto acqua/cemento di circa 0.30-0.45, i cementi solfoalluminosi tendono ad andare soggetti ad autoessiccazione, poiché per un'idratazione completa è necessario un rapporto acqua/cemento alto (circa 0.60).

La durabilità delle strutture, posta in luce da prove di laboratorio (14), appare in generale paragonabile a quella delle strutture realizzate in cemento Portland ordinario. I calcestruzzi esibiscono alta resistenza al gelo-disgelo, all'attacco chimico di acqua marina, di solfati, cloruri, sali di magnesio ed ammonio.

Misure di porosità hanno posto in luce che i cementi solfoalluminosi idratati mostrano principalmente pori di raggio inferiore a 25 nm (15) e solo basso contenuto di pori più grossi, formando una interconnessa rete di pori che comporta un'alta impermeabilità e resistenza meccanica.

La carbonatazione dipende dal rapporto acqua/cemento e sembra più rapida di quella dei calcestruzzi in Portland, provocando una decomposizione dell'ettringite, ciò che può produrre una moderata perdita di resistenza.

Benché l'alcalinità del cemento solfoalluminoso sia inferiore solo di una unità di quella del cemento Portland, l'armatura d'acciaio appare più protetta dalla corrosione e la reazione alcali-aggregato meno favorita.

Cementi soprasolfatati.

Sono leganti privi, o quasi, di clinker di cemento Portland, composti da scoria d'altoforno, solfato di calcio ed un attivatore alcalino (16) che spesso può essere proprio il cemento Portland e stanno riscuotendo nuova attenzione perché ritenuti promettenti per applicazioni industriali. Il risveglio discende dalla conservazione dell'ambiente, soprattutto dal calore d'idratazione assai basso e dalla buona durabilità in ambienti chimicamente aggressivi. Il rinnovato interesse è dimostrato dal fatto che hanno recentemente conquistato il mercato e che oggi esiste una normativa europea.

La composizione della scoria ne influenza le proprietà. Determinante è il contenuto d'allumina che non deve scendere al di sotto del 13%, anche se recentemente è stato dimostrato che scorie a contenuto più basso d'allumina possono essere attivate ed impiegate come leganti per rinzafo, iniezione o malte per muratura in ambienti aggressivi, quali quelli ad alto contenuto di solfati.

Il solfato di calcio è per lo più gesso od anidrite e si fa avanti l'impiego di fonti secondarie di solfato di calcio (fosfogesso, gesso da desolfurazione di gas).

Oltre al cemento Portland vengono impiegati altri attivatori: idrossido di calcio o di potassio e carbonato sodico, gli ultimi due favoriti per scorie a bassa reattività. Aumentano infatti il pH della soluzione dei pori, assai più basso del cemento Portland, promuovendo la dissoluzione della scoria.

Ne va però evitato il sovradosaggio che influenzerebbe la stabilità di volume.

L'ambiente alcalino della soluzione dei pori promuove la dissoluzione della scoria. L'alluminio disciolto, gli ioni calcio e silicio reagiscono con il solfato di calcio per formare ettringite e fasi C-S-H che sono i prodotti d'idratazione principali, accanto ai quali sono presenti fasi minori: AFm o idrotalcite.

La composizione della soluzione dei pori è dominata dagli ioni solfato, calcio ed alcalini a brevi scadenze (< 1 giorno) (17). A scadenze più lunghe le concentrazioni di solfato e di calcio non si modificano granché, mentre la concentrazione degli alcali cresce per effetto del rilascio dalle materie prime e di una diminuzione di volume della soluzione dei pori. Generalmente le concentrazioni di Si ed Al nella soluzione dei pori sono basse, dipendendo dal valore del suo pH e crescono al suo crescere. La soluzione dei pori risulta satura rispetto al gesso e sovrasatura rispetto all'ettringite. Eccettuate le prime ore, il monosolfato è sottosaturo e la portlandite è sempre sottosatura.

La microstruttura dei cementi soprasolfatati idrati è generalmente caratterizzata da grandi cristalli di ettringite (alcuni μm) che precipitano dalla soluzione durante le prime ore d'idratazione (18) e che sono responsabili della presa e dello sviluppo delle prime resistenze. Fra i cristalli di ettringite si insediano fasi C-S-H fibrose od a forma di piattine, che formano i margini attorno alle particelle di scoria. Il C-S-H attorno ai grani di scoria reca uno strato interno che esibisce un rapporto Ca/Si di circa 1.2 ed uno strato esterno con rapporto 1.4 (19).

I tempi iniziali di presa spesso più lunghi ed il più lento sviluppo di resistenza rispetto al cemento Portland, rendono necessaria una prolungata stagionatura ad umido, che, se insufficiente, può portare ad una spolveratura della superficie del calcestruzzo, unitamente ad un abbassamento della resistenza.

Con un'adeguata stagionatura il ritiro è del medesimo ordine di quello del cemento Portland e la porosità è più bassa, un beneficio per la durabilità delle strutture e per la resistenza all'acqua di mare ed ai cloruri, che possono venire inglobati dall'alto contenuto di fasi alluminose nella massa idratata.

I cementi soprasolfatati hanno il vantaggio di essere preparati quasi interamente con prodotti di risulta, emettere basso calore ed esibire buona durabilità in ambienti aggressivi (acqua di mare). Stanno ricevendo una riviviscenza, poiché l'Unione Europea ha redatto Norme d'impiego e caratterizzazione. Risultano molto sensibili alla stagionatura, poiché denunciano bassa resistenza a brevi scadenze. Con un'appropriata stagionatura si possono raggiungere a 28 giorni le medesime resistenze dei calcestruzzi in cemento Portland ed hanno durabilità eccellente.

Leganti alcali-attivati.

Questi leganti stanno ricevendo crescente considerazione come alternativa al cemento Portland, per l'alta resistenza e durabilità e per il basso impatto ambientale. E' stato infatti valutato che una sostituzione di tali leganti al cemento Portland nel calcestruzzo comporta una riduzione del 80% della emissione di CO₂ (20). Sono prodotti mediante miscela di polveri di allumosilicati (ceneri volanti (21), scoria d'altoforno, metacaolino, con una soluzione alcalina attivante. Il prodotto di reazione, un legante geliforme contenente alcali, presenta una struttura reticolare simile a quella dei polimeri organici termoindurenti ed è amorfo ai raggi X.

Diversamente dal cemento Portland sono interamente ottenuti con prodotti di risulta, con processi non complicati, anche se l'influenza della loro composizione sulla cinetica di reazione e sullo sviluppo dei prodotti di neoformazione non sono ancora conosciuti.

Un'ampia attività di ricerca ha posto in luce le eccellenti proprietà fisiche del calcestruzzo formulato con leganti alcali-attivati.

La fondamentale tecnologia di produzione di tali leganti non è nuova. Già nel 1940 Purdom (23) pose in luce che la reazione di un precursore solido contenente allumina o silice con una fonte alcalina, generava un prodotto solido dal comportamento paragonabile a quello del cemento Portland. L'accurato dosaggio dell'attivatore, la sensibilità alle condizioni di attivazione, la quantità d'acqua da aggiungere, la difficoltà di maneggio di soluzioni caustiche concentrate, il costo dell'attivatore, furono però considerate un problema.

Oggi sono state sviluppate soluzioni scientifiche ed ingegneristiche e, dopo 70 anni, la tecnologia di alcali-attivazione viene impiegata nella realizzazione di parecchie principali infrastrutture in Europa, nelle Americhe e nella regione Asia-Pacifico (24).

La chimica dell'attivazione alcalina è tuttora oggetto di riflessione in campo scientifico e largamente dipende dalla natura del solido precursore e dell'attivatore prescelto (25). Il tipo di gelo di neoformazione viene descritto in letteratura come un gelo N-A-S-H (26), ma, considerato il basso contenuto di acqua legata, potrebbe più correttamente essere indicato da N-A-S-(H).

Fasi cristalline che includono quelle di tipo idrotalcite o zeoliti possono formarsi come fasi secondarie, principalmente in funzione dell'attivatore prescelto. Attivatori come il carbonato favoriscono la formazione di idrotalcite, particolarmente quando il precursore è ricco di magnesio come la scoria d'altoforno, e gli attivatori idrossido possono determinare la formazione di zeoliti.

Leganti attivati con silicato presentano un'ampia variabilità per tipo e contenuto di fasi cristalline secondarie, in dipendenza del modulo di silice (rapporto SiO₂/Na₂O della soluzione attivante) e della mineralogia del solido precursore.

Sistemi di scoria alcali-attivati esibiscono ottima durabilità quando la struttura dei pori è compatta e fine. La presa risulta fortemente dipendente dalle modalità di stagionatura. L'alta temperatura non è richiesta per lo sviluppo di un'alta resistenza. Un legante alcali-attivato, correttamente formulato, può infatti far presa ed indurire a temperatura ambiente ed anche al di sotto di essa, com'è dimostrato da infrastrutture realizzate in calcestruzzo in Australia (27).

Molti fluidificanti usualmente impiegati per calcestruzzi in cemento Portland non determinano la tradizionale riduzione dell'acqua d'impasto, ciò che rende necessario l'impiego di un più alto rapporto acqua/legante per raggiungere le attese proprietà di fluidità. Per realizzare una favorevole struttura dei pori ed assicurare durabilità è pertanto necessario un accurato controllo della stagionatura.

Conclusioni.

Benché recentemente si siano fatti notevoli progressi sulle conoscenze dei quattro leganti alternativi che sembrano candidati qualificati a sostituire il cemento Portland, senza pregiudizio per le caratteristiche di comportamento, essi continuano ad occupare una ristretta fascia del mercato.

Il primo ostacolo discende dall'alto costo di produzione rispetto al Portland e dal tipo di norme d'impiego, redatte in forma di legge con dati da rispettare tassativamente, piuttosto che considerare più compiutamente il comportamento tecnico. Se si prendesse in considerazione anche questo secondo aspetto e se le ricerche (tuttora in atto) apportassero determinanti chiarimenti sulle cinetiche di reazione, è presumibile che possa crescere l'impiego dei cementi alternativi.

I cementi alluminosi pur esibendo rapido sviluppo di resistenza e buona durabilità in ambienti ad alto tenore di solfati, suscitano qualche diffidenza per effetto della riduzione di resistenza nel tempo, dovuta alla "conversione" degli idrati metastabili in quelli più stabili e densi, con evidenti ricadute sulla porosità. Recenti ricerche sulla miscelazione di cementi alluminosi con prodotti cementizi supplementari e l'aggiunta di additivi chimici hanno però posto in luce il possibile superamento del problema della "conversione", eliminando la formazione di idrati metastabili.

Ai cementi solfoalluminosi si guarda in particolare modo per la bassa emissione di CO₂ e per la modesta richiesta di energia. Hanno inoltre il vantaggio di un rapido sviluppo di resistenza e di un'attitudine a legare metalli pesanti. Sul loro impiego grava il costo della bauxite, la scarsa conoscenza della formazione di fasi, la durabilità a lungo termine, le proprietà dei leganti con varia composizione. A questi svantaggi si cerca di porre riparo con ulteriori ricerche sull'impiego di prodotti di rifiuto come materie prime, sulla modellazione termodinamica della formazione di fasi, sulla caratterizzazione della durabilità a lungo termine.

I cementi soprassolfatati, che stanno vivendo una rinascita, grazie alla redazione di norme d'impiego e caratterizzazione, con un'appropriata stagionatura possono raggiungere le medesime resistenze del cemento Portland a 28 giorni.

Molti avanzamenti sono stati fatti sullo sviluppo dei leganti alcali-attivati, anche se la loro caratterizzazione risulta particolarmente complessa. Sono stati impiegati anche su larga scala e richiedono ulteriori approfondimenti dell'influenza della composizione sulla cinetica di reazione e sullo sviluppo dei prodotti di neoformazione.

Bibliografia

1. Juenger M.C.G., Winnefeld F., Provis J.L., Ideker J.H. Advances in alternative cementitious binders. *Cement Concrete Res.*, 41, 1232 (2011).
2. Karlsruhe Institute of Technology. Are new magnesia-based cements the future? Part 1. Analysis of former developments. *Zement-Kalk-Gips Intern.*, 2, 64 (2012).
3. Sersale R. Il ruolo dei prodotti cementizi supplementari sull'abbattimento dell'"effetto serra". *Atti Accad. Pontaniana, Napoli*, 53, 69 (2004).
4. Sersale R. Cementi speciali. Nota I. Natura, proprietà ed applicazioni del cemento alluminoso. *Rend. Acc. Sci. Fis. Mat., Napoli*, 71, 7, (2004).
5. Calcium Aluminate Cements. Proceedings of the Centenary Conference. IHS B Press, Avignon (2008).
6. Ideker J. H. Early-age behaviour of calcium aluminate cement systems. University of Texas. Austin (2008).
7. Lambert S., Guinot D., Lempereur E., Talley J., Alt C. Field investigation of the performance calcium aluminate mortar for wastewater applications. *L.c. a nota* 5. 269 (2008).

8. Alexander M.G., Goyns A.M., Fourie C.W. Experiences with a full-scale experimental sewer made with CAC and other cementitious binders in Virginia, South Africa. *L. c. a nota* 5, 279 (2008).
9. Kighelman J., Scrivener K.L., Zubriggen R. Kinetics of two types of flooring mortar. PC dominated vs. CAC dominated calcium aluminate cements. *L.c. a nota* 5. 567 (2008).
10. Gosselein C. Microstructural development of calcium aluminate cement based systems with and without supplementary cementitious materials. Laboratoire des Matériaux de Construction. Ph.D. Thesis. Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (2009).
11. Klein A. Calcium aluminosulfate and expansive cement containing same. US Patent n.3, 155, 526 (1963).
12. Sersale R. Produzione di clinker a ridotto consumo di energia. Nota III. Cementi belitici e solfobelitici. *Rend.Acc. Sci. Fis. Mat., Napoli*, 71, 125 (2004).
13. Wang L., Glasser F.P. Hydration of calciumsulphoaluminate cements. *Adv. Cement Res.*, 8, 31, 127 (1996).
14. Wang Y., Su M. The third cement series in China. *Word Cem.*, 25, 8, 6 (1994).
15. Bernardo G., Telesca A., Valenti G.L. A porosimetric study of calciumsulfoaluminate cement pastes cured at early ages. *Cement Concrete Res.*, 36, 6, 1042 (2006).
16. Sersale R. Cementi Speciali. Nota III. Cemento soprasolfatato. *Rend.Acc. Sci. Fis. mat., Napoli*, 73, 37 (2006).
17. Gruskovnjak A., Lothenbach B., Winnefeld F., Figi R., S-C Ko, Adler M., Mader U. Hydration mechanisms of super sulphated cement. *Cement Concrete Res.* 38, 7, 983 (2008).
18. Midgley H.G., Pettifer K. The microstructure of hydrated super sulphated cement. *Cement Concrete Res.*, 1, 1, 101 (1971).
19. Matschei T., Bellmann F., Stark J. Hydration behaviour of sulphate-activated slag. *Adv. Cem. Res.*, 18, 5, 167 (2005).
20. Duxson P., Provis J.L., Lukey G.C., van Deventer J.S. The role of inorganic polymer technology in the development of "green concrete" *Cement Concrete Res.*, 37, 1590 (2007).
21. Sersale R. Il cemento di ceneri volanti alcali-attivate e la sua idoneità all'impiego per calcestruzzi. *Rend.Acc. Sci. Fis. mat., Napoli*, 74, 171 (2007).
22. Duxson P., Fernandez-Jimenez A., Provis J.L., Lukey G.C., Palomo A., van Deventer J.S.J. Geopolymer technology: the current state of the art. *J. Mater. Sci.*, 42, 9, 2917 (2007).
23. Purdom A.O. The action of alkalis on blast-furnace slag. *Journ. Soc. Chem. Ind. Trans. Commun.*, 59, 191 (1940).
24. Davidovits J. 30 years of successes and failures in geopolymer applications. Market trends and potential breakthroughs. In: Lukey G.C. Ed. *Geopolymers 2002*. SiloxoPty Ltd. Melbourne (2002).
25. Provis J.L. Activating solution chemistry for geopolymers In: Provis J.L., J.S.J van Deventer Eds. *Geopolymers: Structure, processing, properties and industrial applications*. Woodhead, Cambridge, 50 (2009).
26. Garcia-Lodeiro I., Fernandez- Jimenez A., Blanco M.T., Palomo A. FTIR study of the sol-gel synthesis of cementitious gels: C-S-H and N-A-S-H. *J. Sol-Gel Sci. Techn.* 45, 1, 63 (2008).

CEMENTI MAGNESIACI
MAGNESIA-BASED CEMENTS

Nota di Riccardo Sersale

- Adunanza del dì 7 dicembre 2012 -

Riassunto. Nell'ambito delle indagini rivolte alla ricerca di alternative al cemento Portland, in vista dell'alta emissione di CO₂ e delle sue ricadute sul clima, particolare attenzione viene riservata anche alla produzione ed applicazione di cementi magnesiaci. Essi, da tempo conosciuti, hanno occupato una ristretta fascia del mercato, sia per una distribuzione eterogenea della magnesite nel mondo, sia per la ridotta disponibilità a fronte di quella del calcare. Si va pertanto alla ricerca di nuove idee e di nuove materie prime per la produzione di leganti innovativi.

Questa Nota passa in rassegna produzione, proprietà ed applicazioni dei precedenti leganti magnesiaci e riferisce sulle nuove iniziative in atto, che si propongono di realizzare cementi magnesiaci originali sulla base di nuovi concetti afferenti all'attitudine a legare.

Parole chiave: Cementi magnesiaci antichi e nuovi.

Abstract. In the investigation fields concerning cement Portland substitutes, in view of the high CO₂ emissions and the effects on climate protection, attention has been also addressed to magnesia-based cements production and applications. These binders since longtime well known, remained a niche product, both for the heterogeneous magnesite distribution in the world, and for the reduced availability in comparison to limestone. New concepts for the production of innovative magnesia-based cements and new raw materials are therefore required.

This Paper pass in review production, properties and employments of magnesia-based cements up to now known and reports new activities achieved, in order to carry out novel magnesia cements based on new concepts related to binding aptitude.

Key Words: Novel and ancient magnesia-based cements.

Premessa.

Il cemento Portland è il materiale da costruzione più usato per la preparazione di calcestruzzi. Dopo l'acqua, è il prodotto di maggior consumo ed in tutto il mondo viene prodotta più di una tonnellata/anno di calcestruzzo per persona (1).

Poiché la produzione di cemento Portland è associata ad alte emissioni di CO₂ che ingiuriano l'ambiente e ne è prevista una crescita, la salvaguardia dell'ambiente richiede soluzioni innovative per mantenere le emissioni future almeno ai livelli di oggi. Sono pertanto sotto esame diversi cementi candidati a sostituire il Portland (1), visto che l'industria cementiera ha esaurito tutte le soluzioni più idonee a contenere le emissioni.

Recentemente, in concomitanza con le tecnologie di cattura e stoccaggio del biossido di carbonio (2), si guarda con interesse alla produzione ed applicazione di "cementi verdi" e da molte parti si chiede agli esperti un'opinione anche sui cementi magnesiaci quali possibili sostituti del cemento Portland ordinario, con particolare riferimento alla disponibilità di materie prime, alla spesa per il relativo acquisto, alla richiesta di energia dell'intera catena di produzione ed agli impatti ambientali previsti.

I cementi magnesiaci, da tempo conosciuti, occupano ancora una fascia ristretta del mercato per la limitata disponibilità di materia prima e per alcune proprietà specifiche. Per poter sostituire il cemento Portland pienamente affermato dovrebbero esser prodotti in maniera completamente

différente da quella attuale. Pertanto, dopo un attento esame della tecnologia di produzione e delle proprietà degli odierni cementi magnesiaci, vengono esaminate nuove proposte (3, 4).

Materie prime.

La magnesite naturale ($MgCO_3$) o la dolomite ($MgCO_3 \cdot CaCO_3$) sono le materie prime per la produzione dei cementi magnesiaci. Di ridotta importanza sono il cloruro e l'idrossido di magnesio estratti dall'acqua di mare o da acque salmastre, per la richiesta di energia tre volte superiore a quella necessaria alla calcinazione della magnesite a temperature di 500-800°C.

I depositi di magnesite generalmente sono accompagnati da dolomite. Tali depositi sono distribuiti nel mondo in maniera differente. Le maggiori riserve si trovano in Cina, Corea del nord, Russia, Turchia, nella parte orientale e sud-orientale dell'Europa ed in Australia. Le relative riserve conosciute si valutano in circa 12 miliardi di tonnellate (3), una quantità chiaramente più bassa sia di quella del calcare, che del gesso, reperibili quasi ovunque nel mondo. Un'aliquota di circa il 50% di magnesite si rinviene nella regione al confine fra Cina e nord-Corea.

In Europa la magnesite si rinviene in molti distretti, pochi dei quali possono esser economicamente coltivati. Uno dei maggiori depositi conosciuti si trova nelle Alpi nella zona della grovaccia: un conglomerato di arenaria con sassolini arrotondati e sabbia, tenuti insieme da un cemento di varia natura.

Si distinguono due magnesiti, differenti principalmente per il tenore di ferro.

Grosso ostacolo alla produzione di cementi magnesiaci è la circostanza che la magnesite si rinviene solo localmente e non è disponibile in quantità decisamente notevoli.

Ossido di magnesio nei cementi ordinari.

L'ossido di magnesio libero (periclasi), al pari della calce libera, è un componente indesiderato nel clinker di Portland (5). Già nel 1917 il National Bureau of Standards e l'American Society for Testing and Materials compilarono una Norma per il cemento Portland che strettamente limitava MgO nel clinker. Norme di altri Paesi suggerirono la medesima precauzione. Secondo la Norma EN-197-1 redatta in Europa, il contenuto di MgO nel clinker di Portland non poteva superare il 5% in peso. Infatti la temperatura necessariamente alta (1450°C) del trattamento termico del clinker, determina una cottura a morte dell'ossido di magnesio che non riesce a combinarsi per sostituzione con le principali fasi del clinker e lo rende scarsamente reattivo. Pertanto nel processo d'idratazione la formazione di brucite ($Mg(OH)_2$) viene ritardata. Poiché essa occupa un volume 2.2 volte maggiore, viene a determinarsi un'espansione nella pasta di cemento indurita.

Il livello di sviluppo dei nuovi leganti a base di magnesia, prodotti in maniera completamente diversa da quella precedente, potrebbe abbassare le barriere per una modifica della Norma riguardante il tenore di MgO e fare anche dei cementi magnesiaci i futuri competitori del cemento Portland.

Cemento al fosfato.

I leganti al fosfato di magnesio sono i rappresentanti principali dei cementi acido-basici. In essi il processo di presa ed indurimento è determinato da una reazione fra un componente più acido ed uno più basico. Il prodotto è un sale od un sale idrato. Il reagente acido può essere un acido inorganico, oppure un sale acido, ad esempio fosfato ammonico. Il costituente basico è usualmente un ossido metallico poco basico od anfotero, con un raggio ionico moderatamente piccolo (MgO , CaO , ZnO), ma può anche includere specie chimiche.

La maggior parte di queste reazioni decorrono a temperatura ambiente, alcune, però, richiedono temperature elevate. Alcuni prodotti induriti, ottenuti da queste reazioni, sono stati denominati

“ceramici chimicamente legati” per le loro singolari proprietà, non essendo in passato ottenibili mediante reazioni decorse a queste temperature.

Cementi al fosfato di magnesio (6).

Sono probabilmente fra i leganti cementizi più antichi. Possono derivare da soluzioni contenenti fosfato, proveniente da escrementi animali o da piante fermentate che reagiscono con la magnesia.

Il loro impiego si fa risalire alla costruzione della Grande Muraglia (3), lungo baluardo in muratura che chiude a settentrione la Cina e che sorse per la coordinazione di singole opere già esistenti ed edificate in varie epoche, a scopo di difesa contro le incursioni del feroce popolo dei Hsiung-nu.

La parte più considerevole dell'opera è dovuta al primo imperatore della dinastia Ch'in, che nel 246 a.C. la fece costruire per circa 6000 Km, con altezza variabile da 5 a 10 metri. L'opera fu più volte restaurata e modificata secondo il bisogno. E' ancora ben conservata, eccetto verso ovest, dov'è scomparsa in alcuni tratti. Secondo storici cinesi, gli ultimi lavori risalgono al 595 e 608 d. C.

Anche oggi la ricerca si indirizza verso cementi a base di fosfato di magnesio (7). I suoi costituenti sono l'ossido di magnesio ed un fosfato acido solubile in acqua. Nel processo d'idratazione la struvite ($\text{NH}_4 \cdot \text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) è il principale prodotto di reazione, responsabile di presa ed indurimento rilasciando, quando il fosfato acido solubile in acqua di partenza è il fosfato biammonico, ammoniaca gassosa. La presa avviene in pochi minuti. Le resistenze ultime (28 giorni) di malte prodotte a dovere possono superare 50 MPa.

Il campo d'applicazione di cementi a base di fosfato di magnesio è la realizzazione di malte e calcestruzzi per interventi di riparazione, come ad esempio il restauro delle buche dei pavimenti. Uno dei vantaggi è il solido legame con il calcestruzzo di cemento Portland stagionato. Esibisce anche accettabile resistenza all'abrasione, al gelo ed ha un coefficiente di espansione termica simile a quello del cemento Portland, con caratteristiche reologiche ad esso simili. Sono stati raccomandati per l'incapsulamento di residui chimici e radioattivi. Dopo riscaldamento al di sopra di 200°C, il cemento indurito a base di fosfato di magnesio esibisce una graduale perdita d'acqua chimicamente legata ed un moderato ritiro, conservando la maggior parte della sua resistenza almeno fino a 1000°C. Può pertanto esser preso in considerazione anche per applicazioni a temperatura.

Può infine esser considerato un legante adatto alla produzione di compositi rinforzati con fibre di vetro, poiché il pH della soluzione dei pori è notevolmente più basso di quello della maggior parte dei cementi.

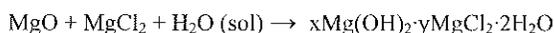
Dal punto di vista della sostenibilità, l'impiego su larga scala di strutture realizzate con materie prime fosforose deve esser criticamente valutato, perché il fosforo è una risorsa che scarseggia e deve impiegarsi con massima parsimonia. Secondo varie indagini infatti le risorse di rocce fosfatiche che possono esser coltivate ed immesse sul mercato: circa 1.6 miliardi di tonnellate (3), non dureranno più di cento anni. Vi sono certamente altre risorse che, però, sono considerate non sfruttabili economicamente, per l'assai alto contenuto di sterile che accompagna il prodotto utile.

Cemento a base di ossicloruro di magnesio (8).

E' anche denominato cemento Sorel, dal nome dell'inventore, ed è un legante siliceo impiegabile in ambiente sub-aereo. E' conosciuto da oltre centoquarant'anni ed è un cemento acido-basico nel quale un cloruro di magnesio acquoso è l'acido e la magnesia caustica (MgO) è la base.

Le condizioni di calcinazione della magnesia ne influenzano la reattività, con ricadute sulla velocità di reazione e sulle proprietà del prodotto formato.

Il legante che esibisce un rapido sviluppo di resistenza iniziale e finale, consta di ossicloruro di magnesio, un sale idrato basico:



Le paste indurite constano di $Mg(OH)_2$ e di una quantità relativamente alta di cristalli di ossicloruro di magnesio idrato, che formano un reticolo cristallino tridimensionale.

Un serio inconveniente del cemento indurito è la limitata resistenza all'acqua che discioglie le fasi e gli ioni Mg^{2+} , Cl^- ed OH^- entrano nella fase liquida, provocando perdita di resistenza. Per ridurre la sensibilità all'acqua sono stati proposti diversi additivi.

Può esser impiegato soltanto in ambienti interni ed ordinariamente viene usato per pavimentazioni industriali, principalmente per le buone proprietà elastiche.

Il cloruro di magnesio, essenziale per la produzione, se ottenuto da acqua di mare o salmastra, è un componente dispendioso. Il metodo più comune di produzione è la reazione fra ossido di magnesio ed acido cloridrico.

Per effetto della competizione con leganti idraulici di più alta qualità, questo legante acido-basico occupa una limitata fascia del mercato.

Recentemente la ricerca sui cementi a base di magnesia è rivolta a valutare i livelli ai quali nuovi cementi, preparati con concetti completamente diversi da quelli più antichi e che adoperano nuove materie prime, potrebbero rimpiazzare il materiale da costruzione più impiegato: il cemento Portland (9).

In questa linea si colloca il cemento Tec Eco, proposto in Tasmania. E' ottenibile per moderata calcinazione di magnesite ($600-650^\circ C$) e fornisce un MgO più reattivo. Per effetto di una temperatura di cottura più bassa di quella del calcare, questo legante richiede più bassa energia e l'impiego di una più vasta gamma di combustibili. Ne risulta un MgO "veloce", che impedisce vada ad effetto un eccessivo aumento di volume dopo indurimento. Pertanto MgO può esser mescolato con sottoprodotti industriali (cenere volante) o con cemento Portland per formare un legante cementizio.

La riduzione delle emissioni va però attentamente valutata. Non è infatti automatica, perché bisogna mettere in conto diversi fattori.

Per idratazione di MgO si forma brucite ($Mg(OH)_2$) quale fase legante e come potenziale applicazione del Tec Eco la realizzazione di partite di materiale non destinato a sopportare carichi.

Non esistono ancora sufficienti informazioni sul comportamento e sulla durabilità di un simile legante, poiché non ancora è stato impiegato su larga scala, anche perché la magnesite è una materia prima non disponibile dappertutto.

Sin dalla metà del 2009 gli studiosi hanno avanzato proposte innovative per i leganti magnesiaci.

In tale quadro trovano posto le ricerche rivolte alla produzione di un cemento denominato Novacem, un legante magnesiaco che, in accordo con il brevetto (10), dopo indurimento, si presenta come una brucite carbonatata. L'indurimento ha luogo in due stadi: idratazione della magnesia caustica e successiva carbonatazione.

Il maggior vantaggio ambientale di un tale cemento è l'adsorbimento di circa 900-1100 Kg/tonnellata di CO_2 . I valori di resistenza riportati nel brevetto non superano $30 N/mm^2$. Pertanto il legante non può esser impiegato per componenti ad alta resistenza.

Dalla metà del 2010 il cemento Novacem ha subito un'evoluzione. E' stato posto in luce che si possono facilmente produrre cementi mediante miscelazione di ossido di magnesio e polvere di silice per formare, dopo indurimento, silicati di magnesio idrati (fasi-MSH). Miscele contenenti MgO e microsilice, in pari proporzioni, sembrano ottimali (11).

L'alta resistenza dei cementi Novacem stagionati (Fig.1), riposa sulla formazione di fasi-MSH. L'acido silicico altamente poroso, un sottoprodotto del processo di produzione, è talmente reattivo da reagire con MgO per formare fasi-MSH allorché miscelato con acqua.

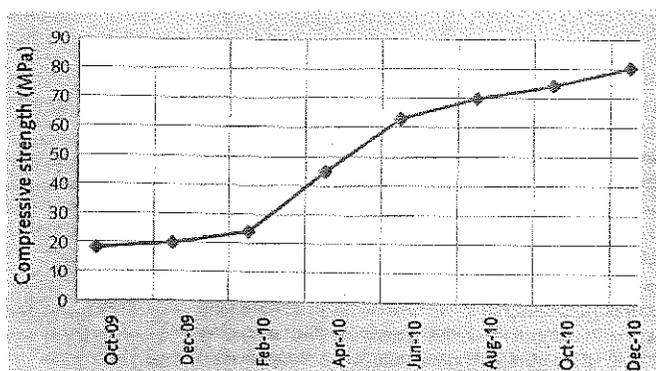


Fig.1. Sviluppo della resistenza di paste di cemento Novacem tra l'ottobre '09 ed il dicembre '10 (12).

Solo una parte del Novacem (circa 50% in peso) consta di MgO ed idro-magnesite. Altro componente principale è la silice amorfa, considerata "un additivo minerale".

Se nel corso del processo di produzione del Novacem, l'acido silicico che si accumula viene completamente utilizzato, i cementi probabilmente hanno un rapporto molare Mg/Si variabile da 1.4 ad 1.5, corrispondente al rapporto nel serpentino ($H_4Mg_3Si_2O_9$) o nell'olivina ($(Mg,Fe)_2SiO_4$). Poiché non si formano fasi con un rapporto Mg/Si maggiore di 1 (13), è probabile che i cementi Novacem induriti siano una miscela di brucite non convertita e fasi-MSH.

Per il futuro, Novacem propone due differenti formulazioni. Il rapporto fra i componenti contenenti magnesio e la silice è probabilmente 1:1 in entrambi. Per il Novacem standard si ritiene che i componenti contenenti magnesio includano circa 80% in peso di magnesia reattiva, il rimanente 20% in peso di idromagnesite.

Nel Novacem altamente carbonatato, invece, i costituenti contenenti magnesio sono diversamente distribuiti. Più del 50% in peso è idromagnesite, il resto, MgO.

Conclusioni.

La protezione del clima pone seri problemi all'industria cementiera e richiede soluzioni innovative che consentano il contenimento delle future emissioni di CO_2 almeno ai livelli di oggi. Conviene pertanto analizzare a quali livelli i cementi innovativi, prodotti con concezioni completamente nuove e nuove materie prime, possano rappresentare alternative al cemento Portland, il cemento tuttora principe.

In questa linea di ricerca si inseriscono gli studi sui cementi a base di magnesia che, noti da lungo tempo, valutati nelle caratteristiche di comportamento tecnico, nelle possibili applicazioni e nella fascia di mercato occupato, attendono di essere prodotti con nuove idee.

Il fatto che la magnesite sia assai meno disponibile e meno diffusa del calcare, che la presenza di ossido di magnesio nel clinker di Portland sia stata guardata con sospetto perché cotta a morte e per questo causa di espansione differita nel cemento indurito, ne ha ritardata la presa in considerazione come materia prima ed ha costituito una remora alla redazione di Norme d'impiego dei cementi magnesiaci.

Vengono oggi proposti cementi magnesiaci innovativi che però, prima di occupare significative fasce di mercato, meritano una lunga sperimentazione delle caratteristiche costituzionali e di comportamento tecnico ed un'attenta valutazione del bilancio energetico e delle emissioni di CO_2 .

Bibliografia.

1. Sersale R. Leganti potenzialmente sostitutivi del cemento Portland. Recenti progressi e previsioni. *Rend. Acc. Sci. Fis. mat. Napoli*, 79 (2012).
2. Sersale R. Cattura e stoccaggio geologico delle emissioni di anidride carbonica. *Atti Accad. Pontaniana, Napoli*, 56, 247 (2007).
3. Karlsruhe Institute of Technology. Are new magnesia-based cements the future? Part.1. Analysis of former developments. *Zement-Kalk-Gips Intern.* 2, 64 (2012).
4. Karlsruhe Institute of Technology. Are new magnesia-based cements the future? Part. 2. Novacem. *Zement-Kalk-Gips Intern.* 3, 64 (2012).
5. Nokken M. Expansion of MgO in cement pastes measured by different methods. *ACI Materials Journ.* 107, 1, 80 (2011).
6. Magnesium phosphate cement. In: I. Odler. *Special Inorganic cements*. E&FN Spon. London, 12, 216 (2000).
7. Qiao F., Chau C., Li Z. Property evaluation of magnesium phosphate cement mortars as patch repair material. *Construction Building Mat.* 24, 695 (2010).
8. Magnesium oxychloride cement. In: I. Odler. *Special Inorganic cements*. E&FN Spon London, 15, 252 (2000).
9. Price W. Cementitious materials for twentyfirst century. *Civil Engineering*, 162, 64, May (2009).
10. Novacem. Binder composition Patent schrift. International Publication number WO 2009/156/40 A1.
11. Zhang T., Cheeseman C., Vandeperre L. Development of low-pH cement systems forming magnesium silicate hydrate (MSH). *Cement Concrete Res.* 31,139 (2011).
12. Future Cement Conferente & Esibition. Proc. 8 February 2011. London. Pro Publications Intern. Ltd.
13. Brew. D., Glasser F. Synthesis and characterization of magnesium silicate hydrate gel. *Cement Concrete Res.* 35, 85 (2005).

L'Osservatorio Meteorologico di *San Marcellino* - Napoli Centro: i dati dell'anno 2012

Nota di A. Mazzarella, R. Di Cristo, R. Viola

Presentata dal Socio Carlo Sbordone
(Adunanza del 7 dicembre 2012)

Osservatorio Meteorologico
Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse
Largo San Marcellino, 10 – 80138 NAPOLI
Università degli Studi di Napoli *Federico II*
Tel. 081.2538347 Fax 081.5522756
e-mail: adriano.mazzarella@unina.it

INDICE DELLE SEZIONI

	Pag.
<i>L'Osservatorio Meteorologico della Federico II</i>	71
<i>Rapporto Meteorologico per l'anno 2012</i>	72
<i>Legenda</i>	73
<i>Medie orarie</i>	
<i>Gennaio</i>	74
<i>Febbraio</i>	75
<i>Marzo</i>	76
<i>Aprile</i>	77
<i>Maggio</i>	78
<i>Giugno</i>	79
<i>Luglio</i>	80
<i>Agosto</i>	81
<i>Settembre</i>	82
<i>Ottobre</i>	83
<i>Novembre</i>	84
<i>Dicembre</i>	85
<i>Medie giornaliere</i>	
<i>Gennaio</i>	86
<i>Febbraio</i>	88
<i>Marzo</i>	90
<i>Aprile</i>	92
<i>Maggio</i>	94
<i>Giugno</i>	96
<i>Luglio</i>	98
<i>Agosto</i>	100
<i>Settembre</i>	102
<i>Ottobre</i>	104
<i>Novembre</i>	106
<i>Dicembre</i>	108
<i>Medie mensili</i>	110
<i>Distribuzione mensile per soglie delle piogge giornaliere e delle temperature minime e massime</i>	112

**L'Osservatorio Meteorologico di
"San Marcellino"
dell'Università degli Studi di Napoli *Federico II***

I dati meteo sono attualmente rilevati da una centralina automatica sita sulla torretta dell'edificio di S. Marcellino (lat. 40°50' 48" N; long. 14°15'31" E; quota 50 m slm), sede attuale del Dipartimento di Scienze della Terra, a meno di 50 m dall'Accademia di Scienze Fisiche e Matematiche della Società Nazionale di Scienze, Lettere ed Arti in Napoli.

La stazione gestisce i seguenti sensori SIAP+MICROS :

- temperatura dell'aria (°C)
- pressione atmosferica (hPa)
- umidità relativa (%)
- velocità del vento (m/s)
- direzione del vento (°Nord)
- precipitazione (mm)
- radiazione solare globale (W/m²)
- radiazione UVb (W/m²)

I dati sono acquisiti con cadenza di 10 minuti ed i valori, fatta eccezione per la pioggia che viene registrata come cumulata, sono quelli istantanei; i dati giornalieri di radiazione globale ed UVb sono mediati sull'intero arco delle 24 ore.

Sono stati analizzati anche i dati giornalieri della temperatura del mare (°C) misurati nel golfo di Napoli (lat. 40°50'23"; long. 14° 16'09") presso il molo del Carmine, gentilmente forniti dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA).

È possibile accedere via web alla consultazione dei dati rilevati in tempo reale all'indirizzo:

<http://www.meteo.unina.it>

RAPPORTO METEOROLOGICO DELL'ANNO 2012

Il bollettino è così organizzato:

- Una catalogazione dei dati e dei relativi grafici a livello orario, nell'arco delle 24 ore, per ogni mese, con l'indicazione dei valori estremi registrati e, a livello giornaliero e mensile, nell'arco dei 12 mesi.
- Un'analisi mensile di tutti i parametri meteo relativa all'anno in corso.
- La direzione del vento è calcolata come moda sia a scala di 10 minuti per i grafici orari che a scala giornaliera per i grafici mensili. È considerata variabile (var.) quando la direzione non è stata registrata su uno stesso quadrante per più di 8 ore.

Dall'analisi di tutti i parametri meteo dell'anno 2012 emerge quanto segue:

- La pressione atmosferica media mensile oscilla fra 1003.7 hPa di aprile e 1014.0 hPa di gennaio, con una media annua di 1010.0 hPa, con un minimo assoluto di 969.0 hPa registrato il 3 febbraio alle ore 16.00 e con un massimo assoluto di 1029.2 hPa registrato il 19 gennaio alle ore 9.50.
- La temperatura dell'aria media mensile oscilla fra 8.7°C di febbraio e 28.5°C di agosto, con una media annua di 18.6°C, con un minimo assoluto di 2.0°C registrato il 7 febbraio alle ore 4.20 e con un massimo assoluto di 35.5°C registrato il 6 agosto alle ore 9.40.
- L'umidità relativa media mensile oscilla fra 60.3% di agosto ed il 73.7% di novembre, con una media annua di 67.0%, con un minimo assoluto di 30 % registrato il 24 ottobre alle ore 14.20 e con un massimo assoluto di 91.6% registrato il 30 luglio alle ore 2.20.
- La radiazione solare globale media mensile oscilla fra 82.8 W/m² di dicembre e 335.4 W/m² di giugno, con una media annua di 205.0 W/m² e con un massimo assoluto di 1203.9 W/m² registrato il 14 maggio alle ore 10.40.
- La radiazione solare UVb media mensile oscilla fra 0.084 W/m² di dicembre e 0.650 W/m² di luglio, con una media annua di 0.332 W/m² e con un massimo assoluto di 2.880 W/m² registrato il 12 giugno alle ore 12.20.
- L'intensità media mensile del vento oscilla tra 2.0 m/s di agosto e 2.6 m/s di febbraio, con una media annua di 2.3 m/s e con la raffica più intensa di 30.1 m/s registrata il 28 novembre alle ore 9.50.
- La direzione del vento presenta una moda di 0° (da Nord) nei mesi di gennaio, febbraio, ottobre, novembre, dicembre e di 180° (da Sud) nei mesi di marzo, aprile, maggio, giugno, luglio, agosto, settembre.
- La pioggia presenta un valore cumulato annuale di 880.2 mm, con un massimo mensile di 130.4 mm a marzo e con il giorno più piovoso registrato il 17 aprile con 46.0 mm.
- La temperatura del mare media mensile oscilla fra 14.1°C di febbraio e 25.5°C di agosto con una media annua di 19.6°C.

Legenda:

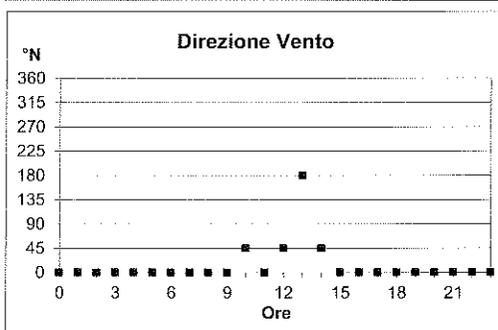
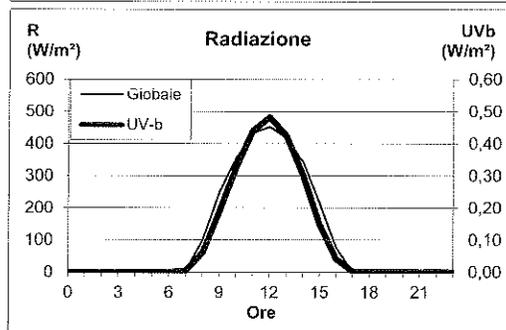
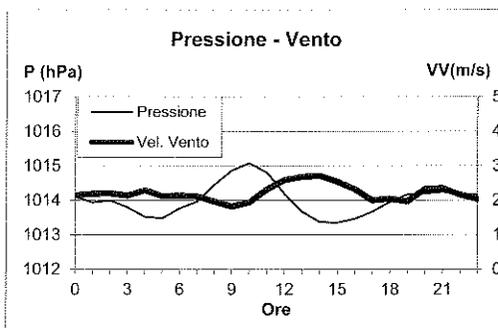
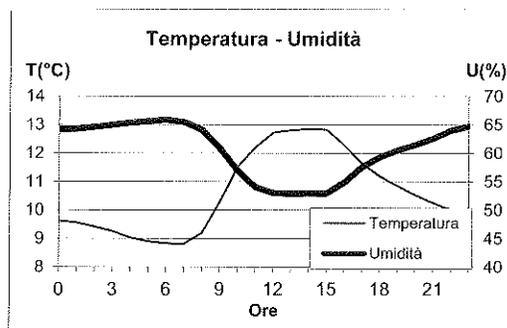
VV	= velocità del vento (m/s)
DV	= direzione di provenienza del vento (°N)
T	= temperatura (°C)
P	= pressione atmosferica (hPa)
U	= umidità relativa (%)
R	= radiazione solare totale (W/m^2)
Pg	= pioggia giornaliera (mm)
UVb	= radiazione ultravioletta (W/m^2)
Tmax	= temperatura massima (°C)
Tmin	= temperatura minima (°C)
Pmax	= pressione atmosferica massima (hPa)
Pmin	= pressione atmosferica minima (hPa)
Rmax	= radiazione solare totale massima (W/m^2)
Umax	= umidità relativa massima (%)
Umin	= umidità relativa minima (%)
VVmax	= velocità massima del vento (m/s)
UVb max	= radiazione ultravioletta massima (W/m^2)
T _{mare}	= temperatura del mare (°C)
var.	= direzione variabile del vento

N.B. L'assenza del dato indica sensore fuori uso

GENNAIO 2012

(medie orarie)

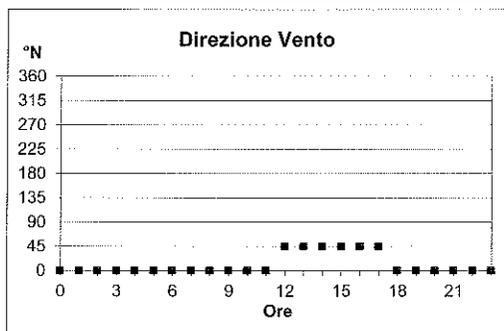
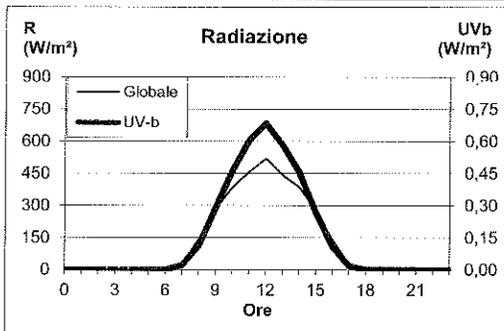
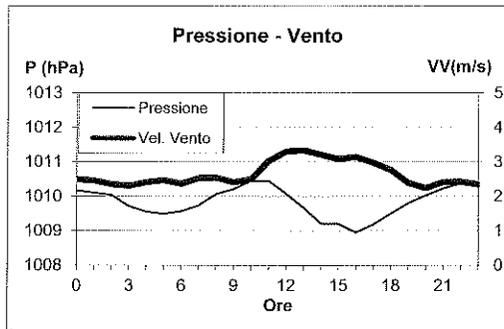
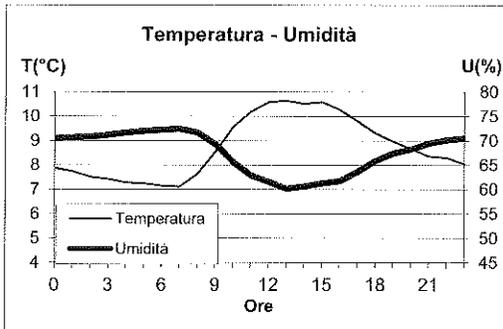
Ora	T(°C)	U(%)	R (W/m ²)	DV(°N)	VV(m/s)	UVb (W/m ²)	P(hPa)
0	9.6	64.2	0.0	0.0	2.1	0.000	1014.1
1	9.6	64.3	0.0	0.0	2.2	0.000	1013.9
2	9.4	64.6	0.0	0.0	2.2	0.000	1014.0
3	9.3	65.0	0.0	0.0	2.1	0.000	1013.8
4	9.0	65.4	0.0	0.0	2.3	0.000	1013.5
5	8.9	65.6	0.0	0.0	2.1	0.000	1013.5
6	8.8	65.9	0.0	0.0	2.1	0.000	1013.8
7	8.8	65.5	2.1	0.0	2.1	0.004	1014.0
8	9.2	64.1	99.4	0.0	2.0	0.060	1014.5
9	10.3	60.9	247.5	0.0	1.8	0.188	1014.9
10	11.5	57.0	354.5	45.0	1.9	0.325	1015.1
11	12.2	54.0	432.7	0.0	2.3	0.440	1014.8
12	12.7	53.0	452.4	45.0	2.6	0.483	1014.2
13	12.8	52.9	417.9	180.0	2.7	0.425	1013.7
14	12.8	53.0	343.9	45.0	2.7	0.305	1013.4
15	12.8	52.9	217.4	0.0	2.5	0.152	1013.3
16	12.3	54.9	77.1	0.0	2.3	0.041	1013.5
17	11.6	57.6	1.8	0.0	2.0	0.002	1013.7
18	11.2	59.3	0.0	0.0	2.0	0.000	1013.9
19	10.9	60.5	0.0	0.0	2.0	0.000	1014.2
20	10.5	61.5	0.0	0.0	2.3	0.000	1014.2
21	10.3	62.6	0.0	0.0	2.4	0.000	1014.2
22	10.0	64.0	0.0	0.0	2.2	0.000	1014.2
23	9.8	64.8	0.0	0.0	2.0	0.000	1014.2



FEBBRAIO 2012

(medie orarie)

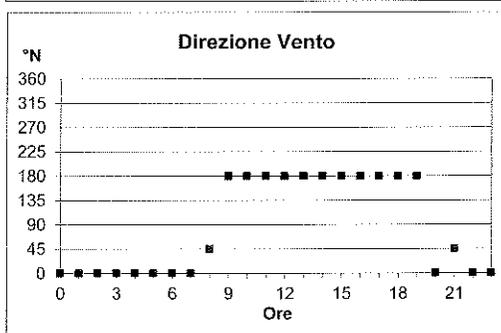
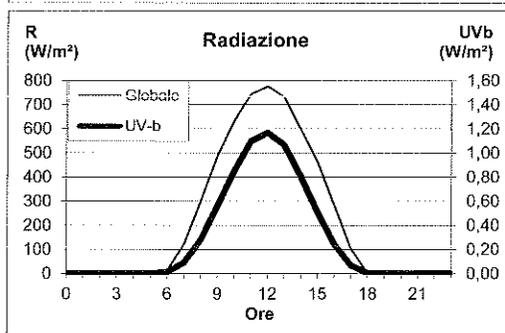
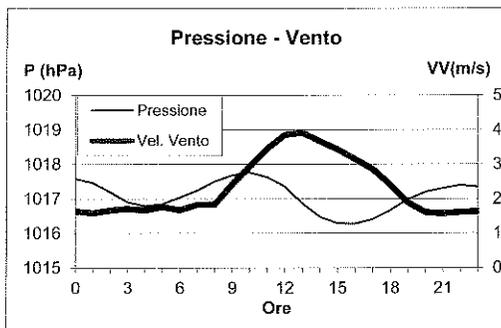
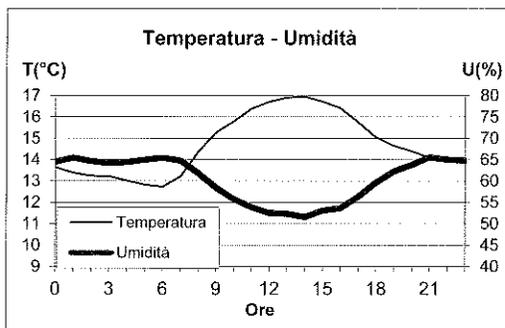
Ora	T(°C)	U(%)	R (W/m ²)	DV(°N)	VV(m/s)	UVb (W/m ²)	P(hPa)
0	7.9	70.5	0.0	0.0	2.5	0.000	1010.2
1	7.7	70.7	0.0	0.0	2.5	0.000	1010.1
2	7.5	70.8	0.0	0.0	2.4	0.000	1010.0
3	7.4	71.2	0.0	0.0	2.3	0.000	1009.7
4	7.3	71.7	0.0	0.0	2.4	0.000	1009.6
5	7.2	72.0	0.0	0.0	2.5	0.000	1009.5
6	7.2	72.3	0.0	0.0	2.4	0.000	1009.6
7	7.1	72.5	22.5	0.0	2.5	0.020	1009.7
8	7.6	71.7	142.1	0.0	2.5	0.112	1010.1
9	8.5	69.3	282.4	0.0	2.4	0.287	1010.2
10	9.6	65.7	384.6	0.0	2.5	0.462	1010.4
11	10.2	62.9	455.9	0.0	3.0	0.604	1010.4
12	10.6	61.6	519.6	45.0	3.3	0.685	1010.1
13	10.6	60.2	441.7	45.0	3.3	0.584	1009.7
14	10.5	60.7	386.8	45.0	3.2	0.457	1009.2
15	10.6	61.3	276.8	45.0	3.1	0.271	1009.2
16	10.3	61.8	143.5	45.0	3.1	0.110	1009.0
17	9.8	63.6	25.7	45.0	3.0	0.018	1009.2
18	9.3	65.9	0.0	0.0	2.8	0.000	1009.5
19	9.0	67.5	0.0	0.0	2.4	0.000	1009.8
20	8.7	68.3	0.0	0.0	2.2	0.000	1010.0
21	8.4	69.5	0.0	0.0	2.4	0.000	1010.2
22	8.3	70.2	0.0	0.0	2.4	0.000	1010.4
23	8.1	70.5	0.0	0.0	2.4	0.000	1010.3



MARZO 2012

(medie orarie)

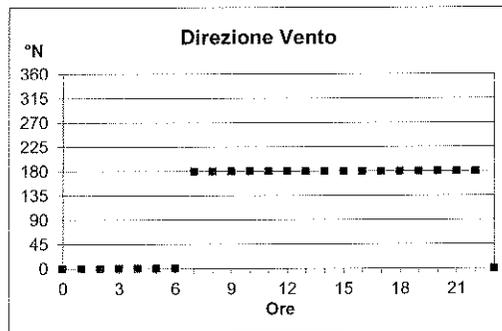
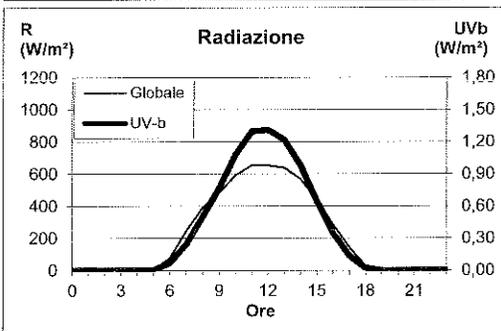
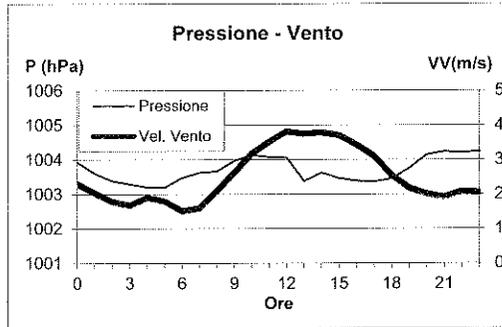
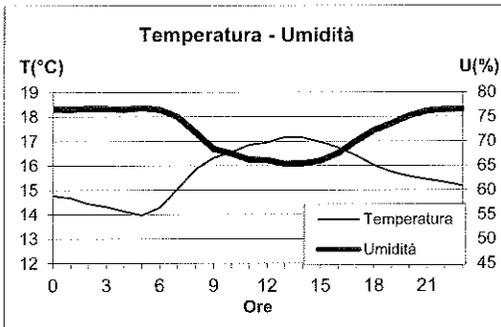
Ora	T(°C)	U(%)	R (W/m ²)	DV(°N)	VV(m/s)	UVb (W/m ²)	P(hPa)
0	13.6	64.5	0.0	0.0	1.6	0.000	1017.6
1	13.4	65.5	0.0	0.0	1.6	0.000	1017.5
2	13.2	64.6	0.0	0.0	1.7	0.000	1017.2
3	13.2	64.2	0.0	0.0	1.7	0.000	1016.9
4	13.0	64.4	0.0	0.0	1.7	0.000	1016.8
5	12.8	64.9	0.0	0.0	1.8	0.000	1016.8
6	12.7	65.5	10.9	0.0	1.7	0.010	1017.0
7	13.2	64.8	122.5	0.0	1.8	0.090	1017.2
8	14.4	61.9	300.2	45.0	1.8	0.282	1017.5
9	15.3	58.4	487.1	180.0	2.4	0.561	1017.7
10	15.8	55.8	631.8	180.0	2.9	0.851	1017.8
11	16.4	53.8	744.5	180.0	3.5	1.098	1017.6
12	16.7	52.6	776.1	180.0	3.9	1.169	1017.4
13	16.9	52.4	731.6	180.0	3.9	1.067	1016.9
14	17.0	51.6	597.1	180.0	3.7	0.804	1016.5
15	16.7	53.1	462.8	180.0	3.4	0.512	1016.3
16	16.4	53.6	286.6	180.0	3.1	0.245	1016.3
17	15.7	56.3	104.0	180.0	2.9	0.069	1016.4
18	15.0	59.7	4.2	180.0	2.4	0.004	1016.7
19	14.7	62.3	0.0	180.0	1.9	0.000	1017.0
20	14.4	63.8	0.0	0.0	1.6	0.000	1017.2
21	14.1	65.6	0.0	45.0	1.6	0.000	1017.3
22	14.0	65.1	0.0	0.0	1.6	0.000	1017.4
23	13.9	64.8	0.0	0.0	1.6	0.000	1017.3



APRILE 2012

(medie orarie)

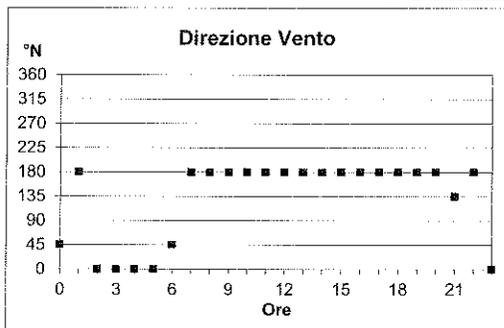
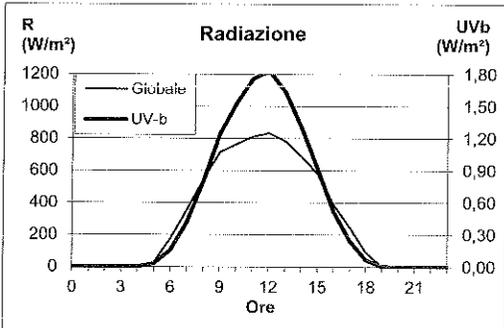
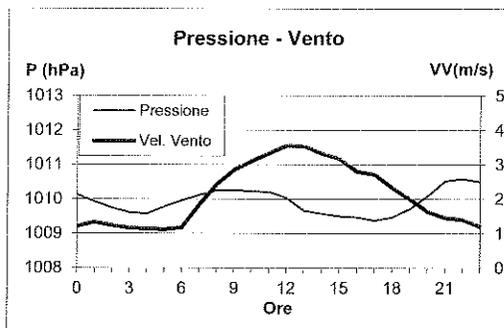
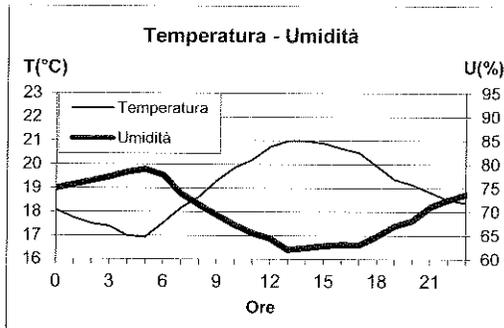
Ora	T(°C)	U(%)	R (W/m ²)	DV(°N)	VV(m/s)	UVb (W/m ²)	P(hPa)
0	14.8	76.6	0.2	0.0	2.3	0.000	1003.9
1	14.7	76.5	0.1	0.0	2.0	0.000	1003.6
2	14.4	76.7	0.0	0.0	1.8	0.000	1003.4
3	14.3	76.7	0.0	0.0	1.7	0.000	1003.3
4	14.1	76.5	0.0	0.0	1.9	0.000	1003.2
5	14.0	76.8	3.0	0.0	1.8	0.006	1003.2
6	14.3	76.4	76.9	0.0	1.5	0.068	1003.5
7	15.0	75.0	245.0	180.0	1.6	0.244	1003.6
8	15.8	71.8	392.5	180.0	2.1	0.502	1003.7
9	16.3	68.4	482.3	180.0	2.6	0.770	1004.0
10	16.6	67.6	591.2	180.0	3.2	1.080	1004.1
11	16.8	66.2	654.9	180.0	3.5	1.296	1004.1
12	16.9	66.2	653.0	180.0	3.8	1.312	1004.1
13	17.2	65.4	638.0	180.0	3.7	1.220	1003.4
14	17.2	65.5	567.7	180.0	3.8	0.977	1003.6
15	17.0	66.0	440.9	180.0	3.7	0.648	1003.5
16	16.7	67.6	286.0	180.0	3.4	0.348	1003.4
17	16.4	70.0	143.6	180.0	3.1	0.136	1003.4
18	16.0	72.2	30.1	180.0	2.5	0.024	1003.4
19	15.8	73.6	0.0	180.0	2.2	0.000	1003.8
20	15.6	75.2	0.0	180.0	2.0	0.000	1004.1
21	15.4	76.2	0.0	180.0	1.9	0.000	1004.2
22	15.3	76.5	0.0	180.0	2.1	0.000	1004.2
23	15.2	76.6	0.0	0.0	2.0	0.000	1004.2



MAGGIO 2012

(medie orarie)

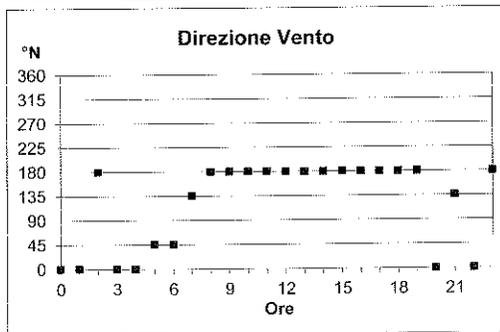
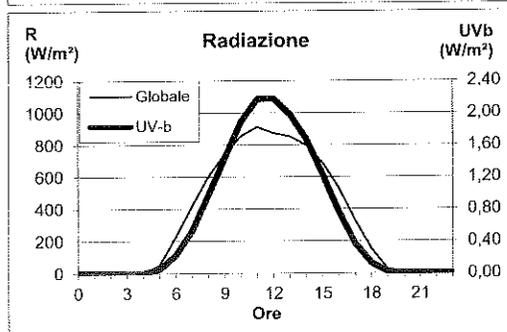
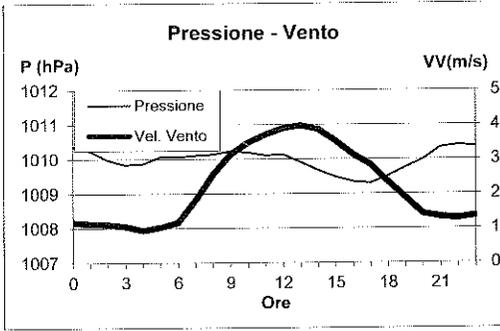
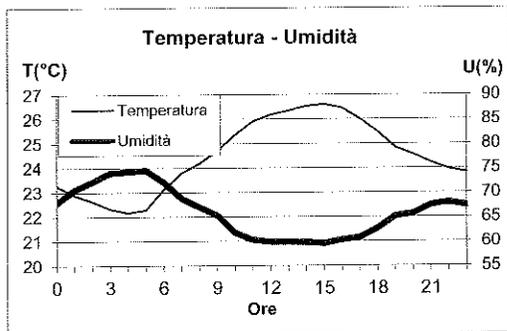
Ora	T(°C)	U(%)	R (W/m²)	DV(°N)	VV(m/s)	UVb (W/m²)	P(hPa)
0	18.1	74.9	0.0	45.0	1.2	0.000	1010.1
1	17.7	75.7	0.0	180.0	1.3	0.000	1009.9
2	17.5	76.5	0.0	0.0	1.2	0.000	1009.7
3	17.4	77.3	0.0	0.0	1.2	0.000	1009.6
4	17.0	78.3	0.0	0.0	1.1	0.000	1009.6
5	16.9	79.0	25.8	0.0	1.1	0.030	1009.8
6	17.5	77.7	176.3	45.0	1.2	0.154	1010.0
7	18.2	73.8	357.9	180.0	1.8	0.418	1010.1
8	18.6	71.5	547.5	180.0	2.4	0.805	1010.3
9	19.3	69.3	715.7	180.0	2.8	1.246	1010.3
10	19.9	67.2	764.1	180.0	3.1	1.529	1010.2
11	20.2	65.5	811.2	180.0	3.3	1.758	1010.2
12	20.7	64.4	832.9	180.0	3.6	1.830	1010.0
13	21.0	62.0	781.9	180.0	3.5	1.634	1009.7
14	21.0	62.4	688.0	180.0	3.3	1.302	1009.6
15	20.9	62.8	580.1	180.0	3.2	0.917	1009.5
16	20.7	63.1	388.2	180.0	2.8	0.514	1009.5
17	20.5	63.0	246.0	180.0	2.7	0.243	1009.4
18	19.9	64.8	90.0	180.0	2.3	0.066	1009.5
19	19.4	67.0	4.6	180.0	2.0	0.005	1009.7
20	19.1	68.1	0.0	180.0	1.6	0.000	1010.1
21	18.8	71.0	0.0	135.0	1.5	0.000	1010.5
22	18.5	72.4	0.0	180.0	1.4	0.000	1010.6
23	18.4	73.7	0.0	0.0	1.2	0.000	1010.5



GIUGNO 2012

(medie orarie)

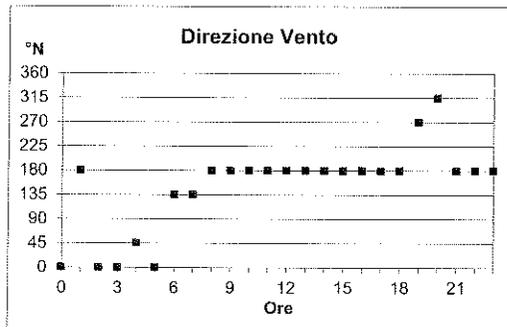
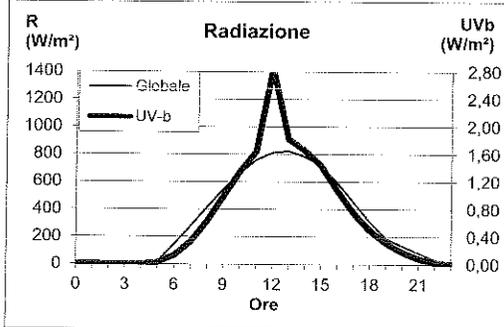
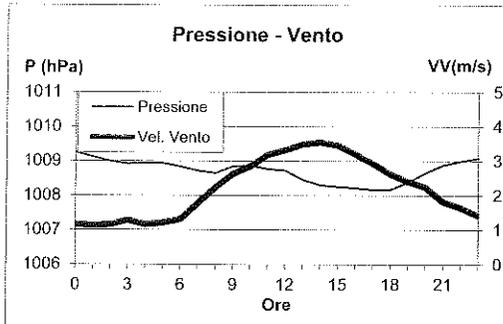
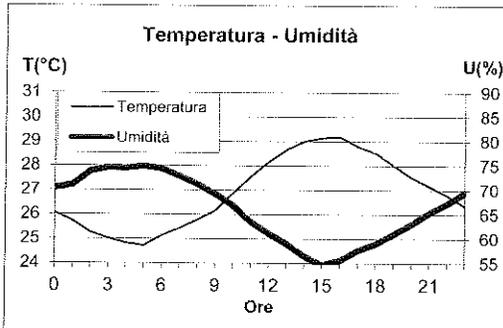
Ora	T(°C)	U(%)	R (W/m ²)	DV(°N)	VV(m/s)	UVb (W/m ²)	P(hPa)
0	23.3	67.9	0.0	0.0	1.2	0.000	1010.4
1	22.9	70.6	0.0	0.0	1.1	0.000	1010.2
2	22.6	72.2	0.0	180.0	1.1	0.000	1010.0
3	22.3	74.0	0.0	0.0	1.1	0.000	1009.8
4	22.2	74.3	0.0	0.0	0.9	0.002	1009.9
5	22.3	74.5	50.9	45.0	1.0	0.051	1010.1
6	23.1	72.1	229.9	45.0	1.2	0.223	1010.1
7	23.8	68.8	419.8	135.0	1.8	0.534	1010.1
8	24.2	67.0	603.5	180.0	2.6	0.973	1010.1
9	24.7	65.3	744.6	180.0	3.1	1.440	1010.2
10	25.4	61.8	856.0	180.0	3.5	1.889	1010.2
11	25.9	60.3	911.6	180.0	3.7	2.173	1010.1
12	26.2	59.9	873.3	180.0	3.9	2.179	1010.1
13	26.3	59.9	853.1	180.0	4.0	1.980	1009.9
14	26.5	59.8	796.6	180.0	3.9	1.671	1009.7
15	26.6	59.6	686.4	180.0	3.5	1.231	1009.5
16	26.5	60.3	528.1	180.0	3.1	0.759	1009.3
17	26.0	60.8	323.8	180.0	2.8	0.363	1009.3
18	25.5	62.7	148.2	180.0	2.3	0.124	1009.5
19	24.8	65.2	25.6	180.0	1.9	0.017	1009.8
20	24.6	65.7	0.0	0.0	1.4	0.000	1010.0
21	24.2	67.5	0.0	135.0	1.3	0.000	1010.3
22	24.0	68.0	0.0	0.0	1.3	0.000	1010.4
23	23.8	67.4	0.0	180.0	1.4	0.000	1010.4



LUGLIO 2012

(medie orarie)

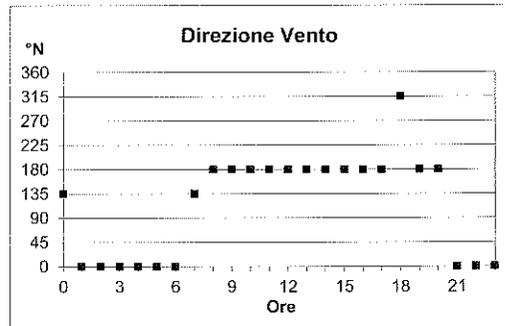
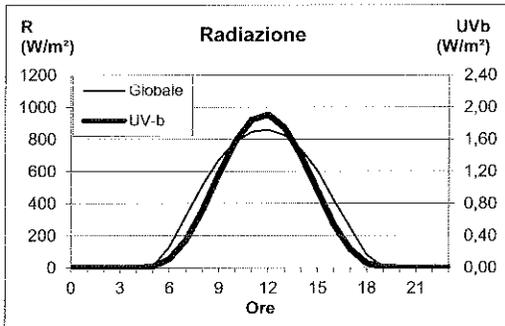
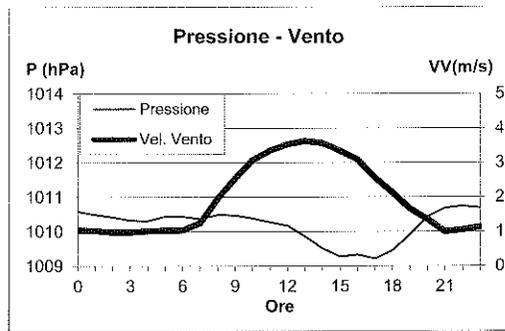
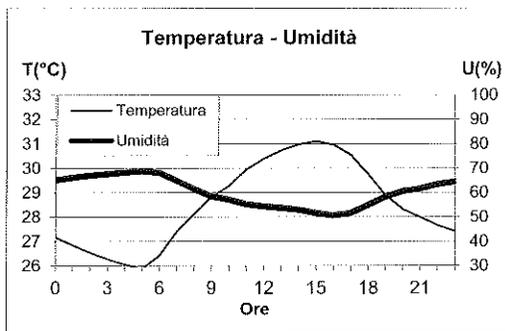
Ora	T(°C)	U(%)	R (W/m ²)	DV(°N)	VV(m/s)	UVb (W/m ²)	P(hPa)
0	26.1	70.4	3.0	0.0	1.2	0.000	1009.3
1	25.7	71.1	2.9	180.0	1.1	0.000	1009.1
2	25.3	73.9	2.9	0.0	1.2	0.000	1009.0
3	25.0	74.6	2.9	0.0	1.3	0.000	1008.9
4	24.8	74.5	2.9	45.0	1.2	0.001	1008.9
5	24.7	74.9	22.3	0.0	1.2	0.026	1008.9
6	25.1	74.3	144.4	135.0	1.3	0.126	1008.8
7	25.4	72.8	277.2	135.0	1.8	0.325	1008.7
8	25.8	71.2	414.8	180.0	2.2	0.625	1008.7
9	26.2	69.2	542.9	180.0	2.6	0.986	1008.9
10	26.9	66.8	663.5	180.0	2.9	1.341	1008.9
11	27.6	63.5	758.1	180.0	3.2	1.642	1008.8
12	28.2	61.1	811.6	180.0	3.3	2.848	1008.7
13	28.7	59.0	824.1	180.0	3.5	1.819	1008.5
14	29.0	56.4	781.7	180.0	3.6	1.655	1008.3
15	29.1	54.7	720.5	180.0	3.5	1.433	1008.3
16	29.2	55.6	593.9	180.0	3.2	1.075	1008.2
17	28.8	57.6	450.4	180.0	2.9	0.746	1008.2
18	28.5	59.0	309.4	180.0	2.6	0.498	1008.2
19	28.0	61.0	190.3	270.0	2.4	0.309	1008.4
20	27.5	63.0	134.2	315.0	2.2	0.179	1008.7
21	27.2	65.4	83.6	180.0	1.8	0.083	1008.9
22	26.8	67.2	35.4	180.0	1.6	0.025	1009.0
23	26.3	69.5	4.6	180.0	1.4	0.003	1009.1



AGOSTO 2012

(medie orarie)

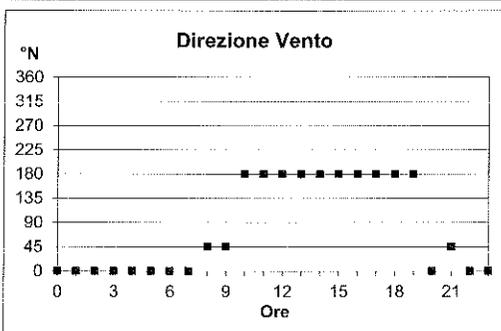
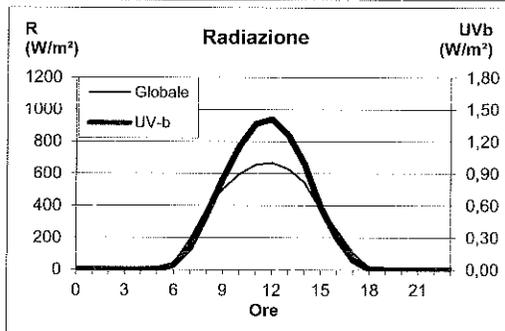
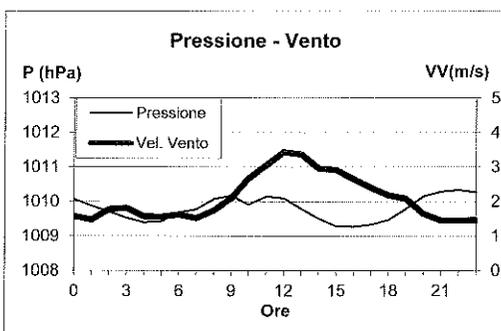
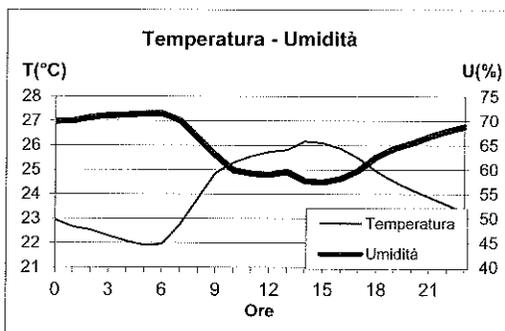
Ora	T(°C)	U(%)	R (W/m ²)	DV(°N)	VV(m/s)	UVb (W/m ²)	P(hPa)
0	27.2	65.0	4.5	135.0	1.0	0.000	1010.6
1	26.9	66.1	4.5	0.0	1.0	0.000	1010.5
2	26.5	67.0	4.5	0.0	1.0	0.000	1010.4
3	26.3	67.6	4.5	0.0	1.0	0.000	1010.3
4	26.1	68.3	4.5	0.0	1.0	0.000	1010.3
5	25.9	68.9	10.3	0.0	1.0	0.015	1010.4
6	26.4	68.1	129.1	0.0	1.0	0.108	1010.4
7	27.4	64.9	322.0	135.0	1.2	0.342	1010.4
8	28.1	61.4	511.3	180.0	2.0	0.713	1010.5
9	28.8	58.4	672.9	180.0	2.5	1.165	1010.5
10	29.3	57.2	784.6	180.0	3.1	1.573	1010.4
11	29.9	55.3	846.7	180.0	3.4	1.845	1010.3
12	30.4	54.4	859.8	180.0	3.5	1.908	1010.2
13	30.7	53.8	825.0	180.0	3.6	1.743	1009.9
14	31.0	53.0	737.6	180.0	3.6	1.395	1009.5
15	31.1	51.6	605.3	180.0	3.3	0.963	1009.3
16	31.0	50.6	419.0	180.0	3.1	0.531	1009.3
17	30.5	51.6	248.9	180.0	2.6	0.230	1009.2
18	29.8	54.9	80.9	315.0	2.1	0.056	1009.5
19	28.9	58.3	5.8	180.0	1.7	0.006	1009.9
20	28.3	60.6	4.6	180.0	1.4	0.000	1010.4
21	28.0	61.7	4.5	0.0	1.0	0.000	1010.7
22	27.7	63.4	4.5	0.0	1.0	0.000	1010.7
23	27.4	64.4	4.5	0.0	1.1	0.000	1010.7



SETTEMBRE 2012

(medie orarie)

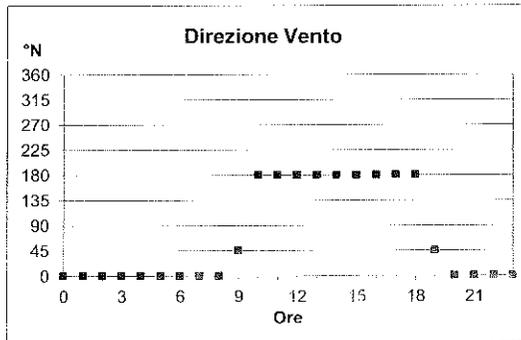
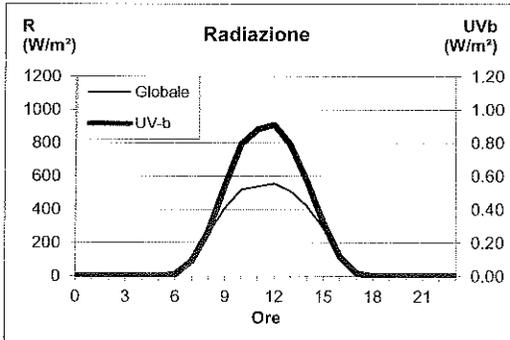
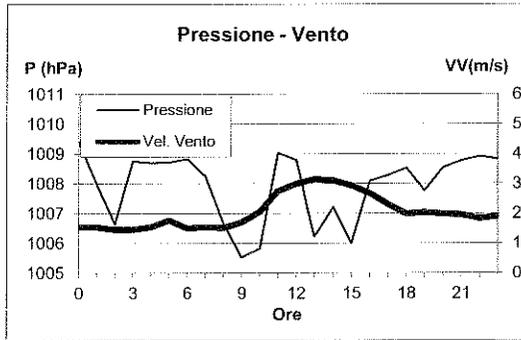
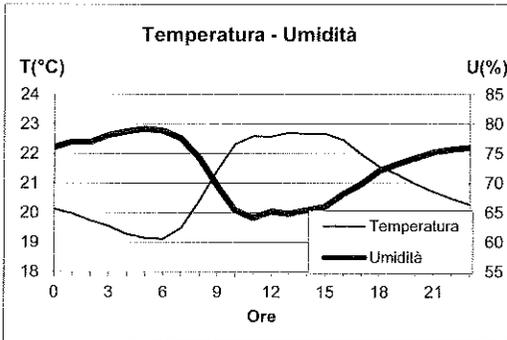
Ora	T(°C)	U(%)	R (W/m ²)	DV(°N)	VV(m/s)	UVb (W/m ²)	P(hPa)
0	23.0	69.9	4.5	0.0	1.6	0.000	1010.1
1	22.7	70.0	4.5	0.0	1.5	0.000	1009.9
2	22.5	70.7	4.5	0.0	1.8	0.000	1009.7
3	22.3	71.1	4.6	0.0	1.8	0.000	1009.5
4	22.1	71.2	4.5	0.0	1.6	0.000	1009.4
5	21.9	71.5	4.5	0.0	1.6	0.002	1009.4
6	22.0	71.5	39.0	0.0	1.6	0.043	1009.7
7	22.7	70.1	188.8	0.0	1.5	0.204	1009.8
8	23.8	66.6	378.3	45.0	1.7	0.508	1010.1
9	24.9	63.0	502.9	45.0	2.1	0.853	1010.2
10	25.3	59.9	596.8	180.0	2.7	1.154	1009.9
11	25.6	59.2	655.1	180.0	3.0	1.367	1010.1
12	25.7	59.0	666.9	180.0	3.4	1.408	1010.1
13	25.8	59.6	626.6	180.0	3.4	1.264	1009.8
14	26.2	57.7	545.0	180.0	3.0	0.989	1009.5
15	26.1	57.5	371.3	180.0	2.9	0.584	1009.3
16	25.9	58.2	246.4	180.0	2.6	0.297	1009.3
17	25.5	59.8	104.4	180.0	2.4	0.092	1009.3
18	25.0	62.6	13.4	180.0	2.2	0.011	1009.5
19	24.5	64.3	4.5	180.0	2.1	0.000	1009.8
20	24.2	65.4	4.5	0.0	1.6	0.000	1010.1
21	23.9	66.8	4.5	45.0	1.5	0.000	1010.3
22	23.6	67.9	4.5	0.0	1.4	0.000	1010.3
23	23.3	68.8	4.5	0.0	1.5	0.000	1010.3



OTTOBRE 2012

(medie orarie)

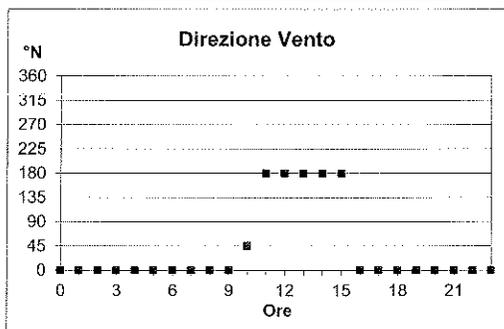
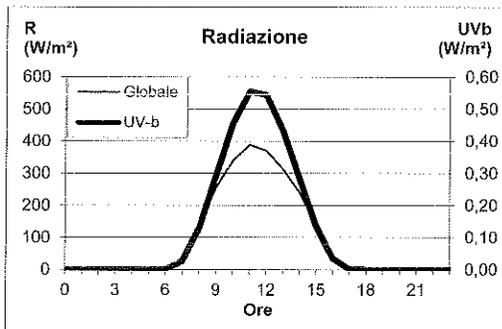
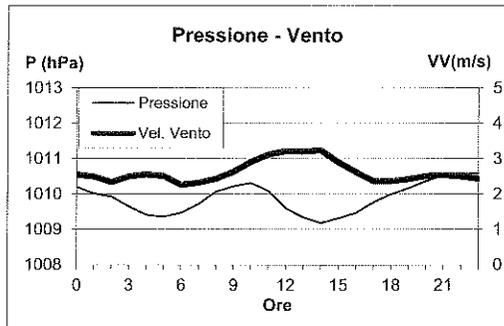
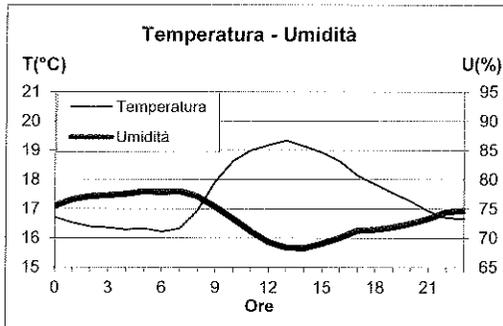
Ora	T(°C)	U(%)	R (W/m ²)	DV(°N)	VV(m/s)	UVb (W/m ²)	P(hPa)
0	20.1	76.1	4.7	0.0	1.5	0.000	1009.4
1	20.0	77.0	4.5	0.0	1.5	0.000	1008.0
2	19.7	76.9	4.6	0.0	1.5	0.000	1006.6
3	19.5	78.1	4.5	0.0	1.5	0.000	1008.8
4	19.3	78.7	4.5	0.0	1.5	0.000	1008.7
5	19.1	79.1	4.5	0.0	1.8	0.000	1008.7
6	19.1	78.9	7.3	0.0	1.5	0.011	1008.8
7	19.5	77.5	102.8	0.0	1.5	0.090	1008.3
8	20.4	74.2	251.7	0.0	1.5	0.266	1006.7
9	21.4	69.6	409.1	45.0	1.7	0.543	1005.5
10	22.3	65.4	518.8	180.0	2.1	0.795	1005.8
11	22.6	64.1	536.9	180.0	2.8	0.862	1009.0
12	22.6	65.2	554.7	180.0	3.0	0.911	1008.8
13	22.7	64.8	508.5	180.0	3.1	0.788	1006.2
14	22.7	65.4	418.7	180.0	3.1	0.570	1007.2
15	22.7	66.0	286.6	180.0	2.9	0.320	1006.0
16	22.5	68.2	141.7	180.0	2.7	0.120	1008.1
17	22.0	69.9	18.6	180.0	2.3	0.019	1008.3
18	21.6	72.1	4.5	180.0	2.0	0.000	1008.5
19	21.3	73.2	4.5	45.0	2.0	0.000	1007.8
20	21.0	74.2	4.7	0.0	2.0	0.000	1008.5
21	20.7	75.2	4.9	0.0	2.0	0.000	1008.8
22	20.5	75.7	4.7	0.0	1.8	0.000	1008.9
23	20.3	76.0	4.5	0.0	1.9	0.000	1008.8



NOVEMBRE 2012

(medie orarie)

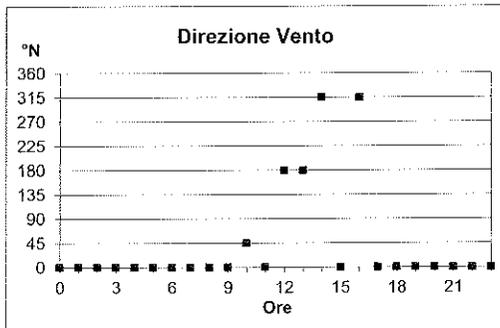
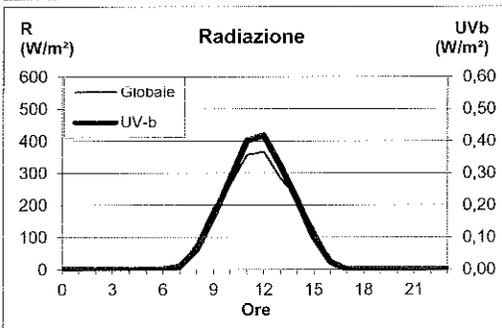
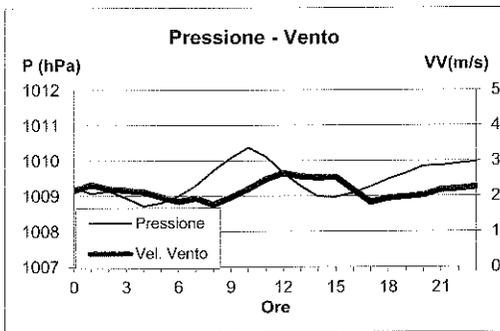
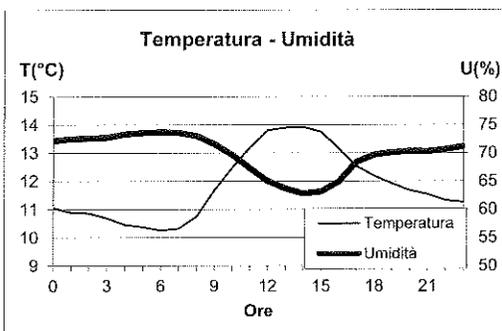
Ora	T(°C)	U(%)	R (W/m ²)	DV(°N)	VV(m/s)	UVb (W/m ²)	P(hPa)
0	16.7	75.5	4.5	0.0	2.5	0.000	1010.2
1	16.5	76.6	4.6	0.0	2.5	0.000	1010.0
2	16.4	77.1	4.5	0.0	2.3	0.000	1009.9
3	16.4	77.3	4.5	0.0	2.5	0.000	1009.7
4	16.3	77.5	4.5	0.0	2.6	0.000	1009.4
5	16.3	78.0	4.5	0.0	2.5	0.000	1009.4
6	16.2	77.8	4.5	0.0	2.3	0.001	1009.5
7	16.3	78.0	22.0	0.0	2.3	0.026	1009.7
8	16.9	77.1	135.0	0.0	2.4	0.131	1010.1
9	17.9	75.3	256.1	0.0	2.6	0.294	1010.2
10	18.6	73.3	339.3	45.0	2.9	0.456	1010.3
11	19.0	71.2	388.4	180.0	3.1	0.555	1010.1
12	19.2	69.3	370.7	180.0	3.2	0.544	1009.6
13	19.3	68.4	313.0	180.0	3.2	0.433	1009.3
14	19.1	68.2	240.2	180.0	3.2	0.286	1009.2
15	18.9	69.1	141.4	180.0	2.9	0.137	1009.3
16	18.6	70.1	46.0	0.0	2.6	0.035	1009.5
17	18.1	71.3	4.8	0.0	2.4	0.003	1009.8
18	17.8	71.4	4.5	0.0	2.4	0.000	1010.0
19	17.5	71.9	4.5	0.0	2.4	0.000	1010.2
20	17.3	72.5	4.6	0.0	2.5	0.000	1010.4
21	16.9	73.4	4.5	0.0	2.5	0.000	1010.5
22	16.7	74.5	4.6	0.0	2.5	0.000	1010.6
23	16.7	74.7	4.5	0.0	2.4	0.000	1010.6



DICEMBRE 2012

(medie orarie)

Ora	T(°C)	U(%)	R (W/m ²)	DV(°N)	VV(m/s)	UVb (W/m ²)	P(hPa)
0	11.1	72.2	4.5	0.0	2.2	0.000	1009.3
1	10.9	72.5	4.5	0.0	2.3	0.000	1009.1
2	10.9	72.6	4.5	0.0	2.2	0.000	1009.1
3	10.7	72.8	4.5	0.0	2.2	0.000	1008.9
4	10.5	73.3	4.6	0.0	2.1	0.000	1008.7
5	10.4	73.6	4.5	0.0	2.0	0.000	1008.8
6	10.3	73.7	4.5	0.0	1.8	0.000	1009.0
7	10.3	73.6	6.1	0.0	1.9	0.009	1009.3
8	10.7	73.1	80.2	0.0	1.8	0.062	1009.7
9	11.7	71.6	191.0	0.0	2.0	0.167	1010.1
10	12.5	69.8	264.3	45.0	2.2	0.282	1010.4
11	13.2	67.3	356.7	0.0	2.5	0.402	1010.1
12	13.8	65.1	366.6	180.0	2.6	0.418	1009.7
13	13.9	63.8	283.9	180.0	2.6	0.323	1009.3
14	13.9	62.9	222.6	315.0	2.5	0.218	1009.0
15	13.8	63.2	124.8	0.0	2.5	0.100	1009.0
16	13.2	65.0	28.3	315.0	2.2	0.022	1009.1
17	12.5	68.4	4.5	0.0	1.8	0.001	1009.3
18	12.2	69.7	4.6	0.0	1.9	0.000	1009.5
19	11.9	70.1	4.5	0.0	2.0	0.000	1009.6
20	11.7	70.3	4.5	0.0	2.0	0.000	1009.9
21	11.5	70.3	4.5	0.0	2.2	0.000	1009.9
22	11.3	70.7	4.5	0.0	2.2	0.000	1009.9
23	11.3	71.2	4.5	0.0	2.3	0.000	1010.0



GENNAIO 2012

(medie giornaliere)

Data	T(°C)	U(%)	Pg(mm)	T _{min} (°C)	T _{max} (°C)	U _{min} (%)	U _{max} (%)	T _{mare} (°C)
1/1/12	10.7	53.8	0.0	7.1	14.5	38.5	70.2	16.4
2/1/12	12.8	77.9	4.4	10.0	14.8	68.0	87.9	16.1
3/1/12	14.2	78.3	1.6	12.9	16.0	71.2	87.1	15.9
4/1/12	12.9	77.3	1.4	10.7	14.7	70.5	82.4	16.2
5/1/12	12.6	81.1	2.6	9.8	14.9	68.6	88.4	16.2
6/1/12	11.0	60.5	3.4	8.6	14.6	29.9	88.6	16.1
7/1/12	11.0	42.1	0.0	7.9	13.5	30.0	60.3	16.2
8/1/12	10.2	48.8	0.0	6.6	13.7	36.8	58.1	15.9
9/1/12	9.2	59.0	0.0	7.4	12.0	47.2	69.7	15.9
10/1/12	10.3	50.8	0.0	7.3	13.9	30.3	68.4	16.0
11/1/12	10.7	53.6	0.0	8.4	14.1	40.7	62.3	15.9
12/1/12	11.7	58.5	0.0	8.7	16.2	38.2	74.9	15.7
13/1/12	12.8	73.3	0.0	10.7	15.0	62.4	79.2	15.7
14/1/12	11.3	53.5	0.0	7.9	13.2	34.2	77.0	15.8
15/1/12	8.3	45.1	0.0	5.8	11.6	34.4	53.6	15.7
16/1/12	6.6	46.4	0.0	4.7	9.6	36.9	57.8	15.6
17/1/12	7.1	51.3	0.0	4.7	10.0	40.8	58.8	15.3
18/1/12	8.4	54.7	0.0	4.6	12.6	40.6	63.3	15.1
19/1/12	10.1	64.4	0.0	6.0	13.3	48.1	73.9	15.2
20/1/12	13.1	76.2	5.8	11.8	14.3	69.3	82.7	15.2
21/1/12	12.0	75.6	0.0	8.9	15.1	56.7	86.4	15.3
22/1/12	12.5	78.2	0.0	10.1	15.1	70.0	84.1	15.4
23/1/12	13.2	77.1	0.0	11.7	15.2	66.0	82.7	15.3
24/1/12	12.8	72.1	0.0	9.5	15.6	51.1	79.8	15.4
25/1/12	8.7	50.3	0.0	7.0	11.5	33.3	64.7	15.3
26/1/12	8.2	35.3	0.0	5.8	11.5	18.7	45.9	15.2
27/1/12	8.9	42.6	0.0	5.8	13.1	27.7	59.5	15.2
28/1/12	9.1	57.7	0.0	6.6	13.3	45.9	62.0	15.2
29/1/12	9.4	55.3	0.0	7.0	13.1	40.6	66.5	15.0
30/1/12	9.6	63.8	0.0	8.0	12.7	53.2	73.8	14.9
31/1/12	9.3	63.0	0.2	6.9	11.5	51.0	75.3	14.9

MASSIMI e MINIMI ASSOLUTI

Temperatura
 Min: 4.6 °C il 18/1 alle ore 4.20
 Max: 16.2 °C il 12/1 alle ore 12.20

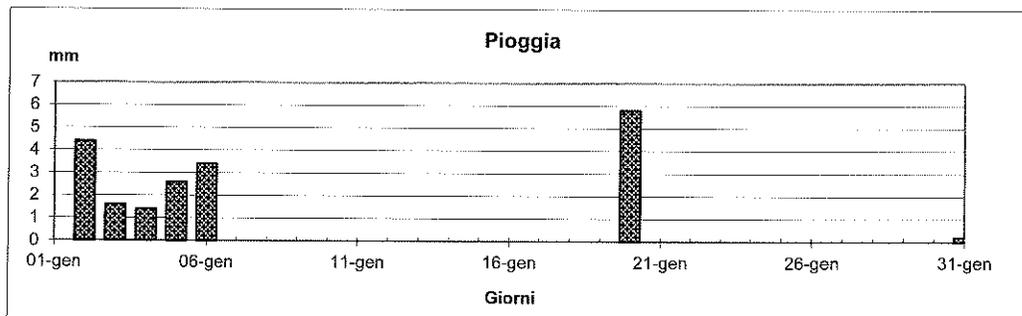
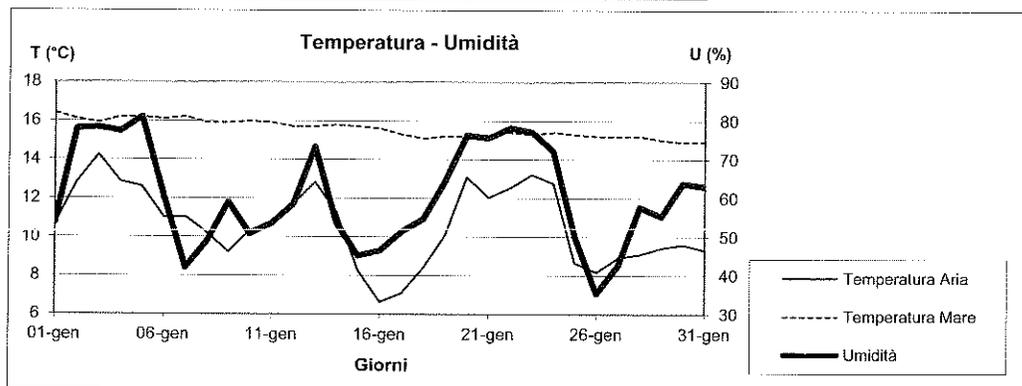
Umidità
 Min: 18.7 % il 26/1 alle ore 14.30
 Max: 88.6 % il 6/1 alle ore 0.10

Pressione
 Min: 984.6 hPa il 6/1 alle ore 5.20
 Max: 1029.2 hPa il 19/1 alle ore 9.50

Velocità del vento
 Max: 16 m/s il 6/1 alle ore 18.50

Radiazione totale
 Max: 735.3 W/m² il 23/1 alle ore 11.50

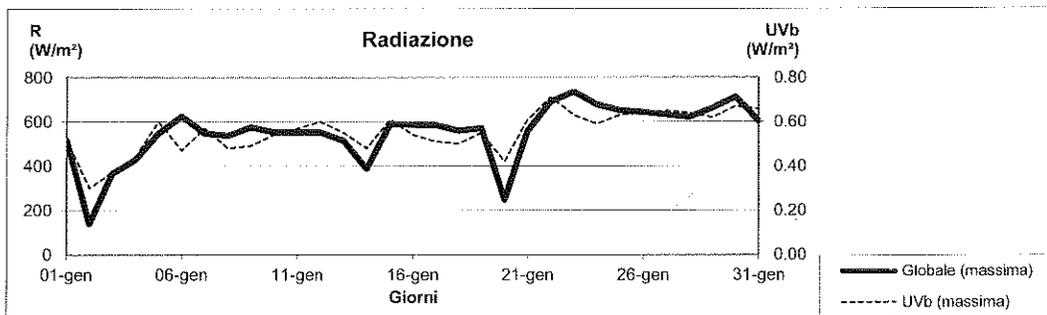
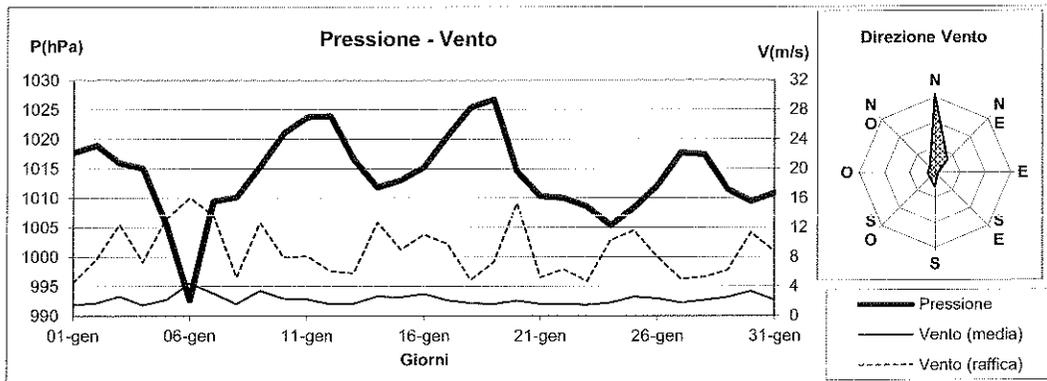
Radiazione UVb
 Max: 0.710 W/m² il 22/1 alle ore 12.0



GENNAIO 2012

(medie giornaliere)

Data	P(hPa)	DV(°N)	VV(m/s)	R(W/m ²)	UVb(W/m ²)	P _{min} (hPa)	P _{max} (hPa)	VV _{max} (m/s)	R _{max} (W/m ²)	UVb _{max} (W/m ²)
11/1/12	1017.7	0.0	1.5	121.1	0.105	1014.6	1020.6	4.5	516.7	0.520
21/1/12	1018.9	180.0	1.7	18.4	0.037	1015.8	1020.7	7.7	138.8	0.300
31/1/12	1015.9	180.0	2.6	40.2	0.052	1013.5	1018.9	12.4	364.6	0.370
41/1/12	1015.0	0.0	1.4	57.0	0.067	1010.9	1018.2	7.3	428.3	0.440
51/1/12	1005.4	225.0	2.2	52.8	0.064	991.8	1011.5	13.2	546.0	0.600
61/1/12	992.7	0.0	4.4	120.9	0.089	984.6	1002.5	16.0	624.8	0.470
71/1/12	1009.4	0.0	3.1	131.3	0.115	1002.8	1012.1	13.6	545.6	0.570
81/1/12	1010.2	0.0	1.6	126.1	0.097	1009.0	1011.5	5.2	537.7	0.480
91/1/12	1015.3	0.0	3.4	100.4	0.090	1010.3	1021.1	12.6	574.9	0.490
101/1/12	1021.0	0.0	2.3	123.2	0.105	1019.4	1022.4	7.9	551.5	0.540
111/1/12	1023.8	0.0	2.2	126.8	0.113	1022.4	1025.5	8.1	552.3	0.570
121/1/12	1023.9	0.0	1.6	131.8	0.118	1021.7	1026.0	6.1	551.9	0.600
131/1/12	1016.5	315.0	1.6	78.5	0.078	1012.2	1021.3	5.8	513.1	0.550
141/1/12	1011.8	45.0	2.6	64.4	0.087	1010.9	1012.8	12.7	387.5	0.480
151/1/12	1013.0	0.0	2.5	142.9	0.123	1012.0	1014.6	9.0	587.6	0.610
161/1/12	1015.3	45.0	3.0	144.6	0.110	1012.7	1018.2	11.0	587.2	0.540
171/1/12	1020.5	45.0	2.1	143.0	0.104	1018.2	1023.7	9.8	584.8	0.510
181/1/12	1025.4	0.0	1.7	136.2	0.103	1023.3	1027.9	4.9	560.2	0.500
191/1/12	1026.7	0.0	1.6	133.6	0.106	1023.5	1029.2	7.3	571.3	0.550
201/1/12	1014.5	270.0	2.0	23.4	0.047	1007.8	1023.2	15.3	247.7	0.420
211/1/12	1010.3	0.0	1.6	134.7	0.125	1007.3	1012.7	5.2	557.1	0.610
221/1/12	1010.0	180.0	1.6	135.1	0.135	1009.0	1012.4	6.3	691.4	0.710
231/1/12	1008.5	0.0	1.5	123.0	0.116	1007.5	1009.7	4.7	735.3	0.630
241/1/12	1005.4	0.0	1.8	110.8	0.106	1003.4	1007.8	10.3	677.5	0.590
251/1/12	1008.3	0.0	2.6	154.2	0.127	1005.9	1010.3	11.6	652.1	0.630
261/1/12	1012.1	0.0	2.4	161.9	0.134	1009.6	1015.8	8.0	643.4	0.640
271/1/12	1017.7	0.0	1.8	151.4	0.132	1015.8	1019.3	5.0	632.7	0.650
281/1/12	1017.4	0.0	2.1	131.8	0.127	1014.6	1019.4	5.3	620.5	0.640
291/1/12	1011.4	0.0	2.5	109.4	0.108	1009.7	1014.6	6.2	663.2	0.620
301/1/12	1009.5	45.0	3.3	118.7	0.123	1008.4	1010.9	11.3	712.0	0.670
311/1/12	1010.8	0.0	2.1	72.2	0.086	1008.4	1012.2	8.7	603.4	0.660



FEBBRAIO 2012

(medie giornaliere)

Data	T(°C)	U(%)	Pg(mm)	T _{min} (°C)	T _{max} (°C)	U _{min} (%)	U _{max} (%)	T _{mare} (°C)
1/2/12	8.5	77.0	19.2	5.3	10.9	60.1	84.8	14.2
2/2/12	7.3	79.7	6.6	5.3	10.0	70.8	83.2	14.5
3/2/12	7.6	82.9	37.8	4.9	13.3	74.2	86.3	14.6
4/2/12	6.1	77.1	7.6	2.1	8.8	62.5	87.1	14.4
5/2/12	6.0	70.3	1.0	3.8	8.0	61.1	80.6	14.5
6/2/12	4.8	66.4	1.8	3.7	6.5	57.4	78.7	14.4
7/2/12	4.7	64.6	0.2	2.0	6.4	59.0	76.9	14.2
8/2/12	6.9	63.4	0.0	5.4	8.4	59.3	68.4	14.0
9/2/12	6.8	53.8	0.0	5.0	9.8	41.9	62.5	13.9
10/2/12	6.3	68.8	12.0	5.0	10.1	52.2	87.0	14.0
11/2/12	6.7	75.2	5.6	4.2	9.2	61.7	81.5	13.9
12/2/12	5.3	82.8	5.2	3.8	7.2	77.7	84.8	13.8
13/2/12	5.9	68.6	0.0	3.4	9.6	54.0	81.9	13.8
14/2/12	5.2	62.2	0.0	3.1	8.6	49.6	72.2	13.9
15/2/12	6.3	55.9	0.0	2.5	9.2	38.2	70.6	13.9
16/2/12	8.4	55.5	0.0	5.9	12.1	32.9	73.9	13.9
17/2/12	8.6	53.9	0.0	5.2	11.4	37.8	73.0	14.0
18/2/12	10.4	77.7	6.8	7.7	13.0	72.2	82.9	13.9
19/2/12	12.1	76.2	3.2	9.5	14.3	62.8	88.7	14.0
20/2/12	11.0	78.2	6.8	9.2	13.5	66.5	85.4	14.0
21/2/12	11.7	69.9	0.0	9.4	15.8	49.9	84.6	14.0
22/2/12	12.0	64.4	0.0	10.3	15.0	52.6	71.4	13.8
23/2/12	13.3	58.7	0.0	10.7	16.5	48.4	69.1	13.7
24/2/12	13.0	62.9	0.0	9.3	17.4	50.2	75.5	14.1
25/2/12	12.7	79.3	0.0	11.0	14.8	72.3	83.6	14.2
26/2/12	12.4	73.5	0.0	10.3	14.5	57.6	84.4	14.2
27/2/12	10.5	39.0	0.2	8.6	12.6	26.4	58.4	13.8
28/2/12	10.4	52.0	0.0	7.4	15.1	30.7	72.5	14.0
29/2/12	12.2	70.0	0.0	8.7	16.6	52.5	76.8	14.1

MASSIMI e MINIMI ASSOLUTI

Temperatura

Min: 2.0 °C il 7/2 alle ore 4.20

Max: 17.4 °C il 24/2 alle ore 16.00

Umidità

Min: 26.4 % il 27/2 alle ore 17.00

Max: 88.7 % il 19/2 alle ore 5.40

Pressione

Min: 969 hPa il 3/2 alle ore 16.0

Max: 1020.6 hPa il 24/2 alle ore 8.50

Velocità del vento

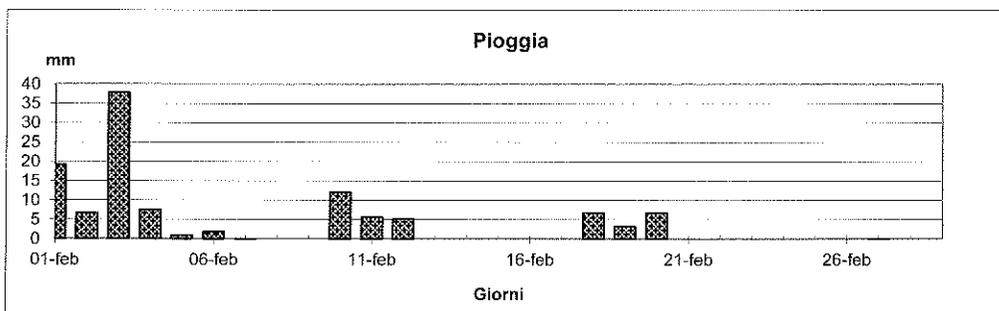
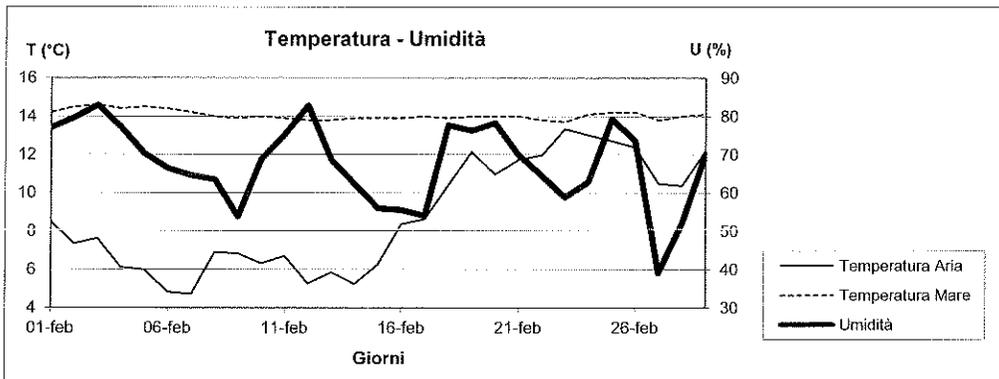
Max: 20.4 m/s il 22/2 alle ore 17.10

Radiazione totale

Max: 940.9 W/m² il 19/2 alle ore 12.40

Radiazione UVb

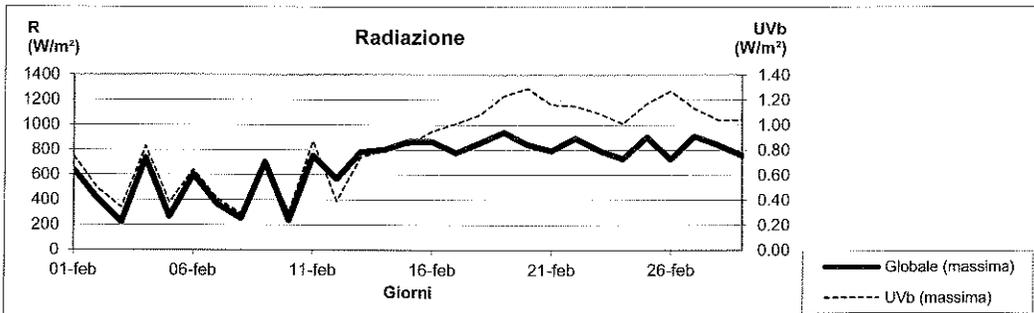
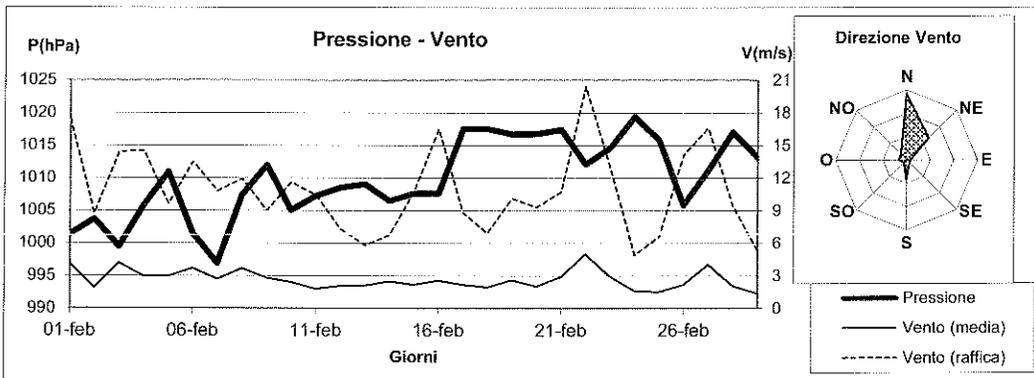
Max: 1.290 W/m² il 20/2 alle ore 12.50



FEBBRAIO 2012

(medie giornaliere)

Data	P(hPa)	DV(°N)	VV(m/s)	R(W/m ²)	UVb(W/m ²)	P _{min} (hPa)	P _{max} (hPa)	VV _{max} (m/s)	R _{max} (W/m ²)	UVb _{max} (W/m ²)
1/2/12	1001.3	180.0	4.1	56.0	0.075	996.6	1008.4	17.4	637.9	0.750
2/2/12	1003.7	0.0	1.9	49.1	0.073	986.0	1005.9	8.7	405.4	0.490
3/2/12	999.5	0.0	4.2	24.6	0.042	969.0	1002.2	14.4	222.3	0.340
4/2/12	1005.8	0.0	2.9	114.4	0.133	997.3	1012.7	14.5	735.7	0.830
5/2/12	1010.9	0.0	2.9	53.0	0.068	1007.9	1013.6	9.6	265.1	0.380
6/2/12	1001.5	45.0	3.7	101.2	0.105	995.5	1007.8	13.5	599.9	0.640
7/2/12	996.9	45.0	2.7	63.6	0.074	994.2	1002.1	10.8	368.1	0.410
8/2/12	1007.4	45.0	3.7	49.1	0.062	1002.2	1012.0	11.9	253.2	0.290
9/2/12	1012.0	0.0	2.8	182.3	0.154	1010.2	1013.9	9.0	702.8	0.710
10/2/12	1005.1	0.0	2.4	20.2	0.030	1000.4	1010.2	11.6	236.6	0.300
11/2/12	1007.2	270.0	1.8	69.4	0.087	1003.4	1009.0	10.4	750.4	0.870
12/2/12	1008.5	0.0	2.0	49.6	0.051	1006.7	1010.8	7.3	566.2	0.390
13/2/12	1009.0	0.0	2.1	148.5	0.136	1007.7	1010.3	5.8	782.5	0.740
14/2/12	1006.4	0.0	2.5	139.0	0.146	1005.2	1009.0	6.7	802.7	0.800
15/2/12	1007.6	0.0	2.2	167.6	0.157	1004.0	1010.2	10.7	866.1	0.840
16/2/12	1007.6	0.0	2.5	203.6	0.210	1002.2	1015.7	16.5	866.8	0.950
17/2/12	1017.6	0.0	2.2	196.6	0.216	1015.7	1018.8	8.8	775.3	1.010
18/2/12	1017.5	180.0	1.9	171.2	0.206	1016.9	1018.8	6.9	856.5	1.080
19/2/12	1016.7	180.0	2.6	164.7	0.230	1015.8	1017.6	10.1	940.9	1.230
20/2/12	1016.8	0.0	2.0	100.0	0.165	1015.7	1018.8	9.3	841.1	1.290
21/2/12	1017.4	45.0	2.9	166.5	0.205	1015.7	1018.8	10.7	792.0	1.160
22/2/12	1012.1	45.0	5.0	152.2	0.201	1010.1	1015.7	20.4	892.2	1.150
23/2/12	1014.6	45.0	2.9	193.4	0.228	1012.1	1018.2	13.0	795.1	1.090
24/2/12	1019.4	0.0	1.6	203.6	0.236	1018.2	1020.6	4.9	727.4	1.010
25/2/12	1015.7	180.0	1.5	140.0	0.201	1010.9	1019.9	6.6	902.9	1.170
26/2/12	1005.8	315.0	2.2	105.7	0.159	1002.8	1010.9	14.1	725.0	1.270
27/2/12	1011.1	45.0	4.0	223.2	0.241	1005.3	1016.4	16.6	908.0	1.130
28/2/12	1017.1	0.0	2.1	215.0	0.235	1015.8	1018.8	9.4	837.5	1.040
29/2/12	1013.1	0.0	1.4	200.4	0.231	977.3	1016.4	5.3	756.7	1.040



MARZO 2012

(medie giornaliere)

Data	T(°C)	U(%)	Pg(mm)	T _{min} (°C)	T _{max} (°C)	U _{min} (%)	U _{max} (%)	T _{mare} (°C)
1/3/12	16.4	50.7	0.0	11.4	20.5	34.6	77.3	14.2
2/3/12	13.4	73.7	0.0	11.9	15.7	57.3	84.4	14.4
3/3/12	13.4	77.8	0.0	12.5	14.6	67.1	84.2	14.4
4/3/12	13.2	77.2	0.0	12.5	14.1	70.2	81.7	14.4
5/3/12	13.2	76.2	0.2	11.0	16.4	60.4	84.3	14.3
6/3/12	11.9	69.4	14.4	10.1	13.9	46.7	88.0	14.4
7/3/12	11.0	63.0	0.0	8.6	13.9	51.8	72.8	14.3
8/3/12	11.3	66.3	0.6	8.9	14.6	57.2	74.1	14.2
9/3/12	11.9	60.0	0.0	10.5	14.3	51.8	65.5	14.3
10/3/12	12.3	52.4	0.0	10.6	13.7	45.7	59.8	14.1
11/3/12	13.0	42.2	0.0	11.1	15.5	30.8	52.0	14.0
12/3/12	13.7	39.9	0.0	11.5	15.6	27.2	56.8	14.0
13/3/12	14.0	51.0	0.0	11.9	16.5	38.6	70.3	13.9
14/3/12	13.4	59.1	0.0	10.8	16.6	44.3	74.8	14.1
15/3/12	13.7	71.0	0.0	10.1	17.7	52.6	81.0	14.3
16/3/12	13.5	78.5	0.0	12.2	15.7	68.2	84.1	14.3
17/3/12	13.5	80.2	0.0	12.4	15.4	71.6	84.9	14.5
18/3/12	15.2	60.9	0.0	11.1	18.8	35.7	85.6	14.5
19/3/12	15.9	55.2	0.0	13.7	18.6	42.4	68.2	14.5
20/3/12	15.9	63.6	0.0	11.6	21.6	38.9	76.9	14.5
21/3/12	16.7	55.7	0.0	13.6	20.8	35.7	69.4	14.6
22/3/12	16.8	54.8	0.0	13.9	20.4	26.1	77.6	14.6
23/3/12	18.3	45.6	0.0	14.7	23.3	28.3	65.9	14.7
24/3/12	17.7	46.7	0.0	15.6	21.1	34.8	70.3	14.9
25/3/12	17.1	54.7	0.4	14.4	21.0	38.0	73.5	14.8
26/3/12	18.1	42.5	0.2	13.9	22.9	22.0	71.2	15.1
27/3/12	17.5	36.0	0.0	14.7	21.6	25.6	52.4	15.0
28/3/12	17.8	39.0	0.0	13.7	23.0	25.9	61.4	15.1
29/3/12	15.4	69.3	0.0	13.4	17.3	50.8	86.4	15.0
30/3/12	15.0	81.1	0.0	13.8	16.1	74.8	86.4	15.3
31/3/12	15.3	78.1	0.0	13.9	16.9	72.2	83.4	15.3

MASSIMI e MINIMI ASSOLUTI

Temperatura

Min: 8.6 °C il 7/3 alle ore 6.10

Max: 23.3 °C il 23/3 alle ore 14.20

Umidità

Min: 22.0 % il 26/3 alle ore 15.20

Max: 88.0 % il 6/3 alle ore 7.40

Pressione

Min: 1003.5 hPa il 31/3 alle ore 17.50

Max: 1026.1 hPa il 21/3 alle ore 0.10

Velocità del vento

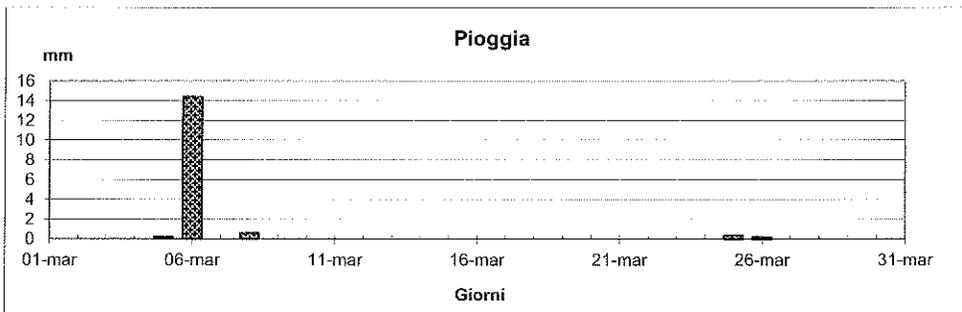
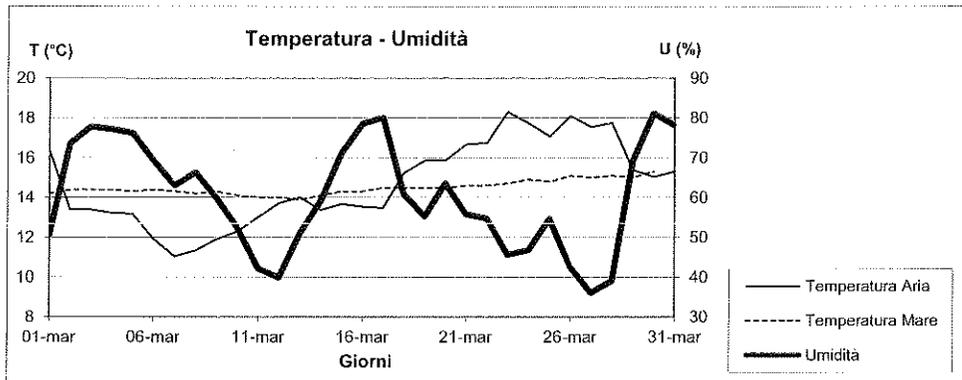
Max: 19.4 m/s il 12/3 alle ore 13.30

Radiazione totale

Max: 1077.6 W/m² il 13/3 alle ore 12.30

Radiazione UVb

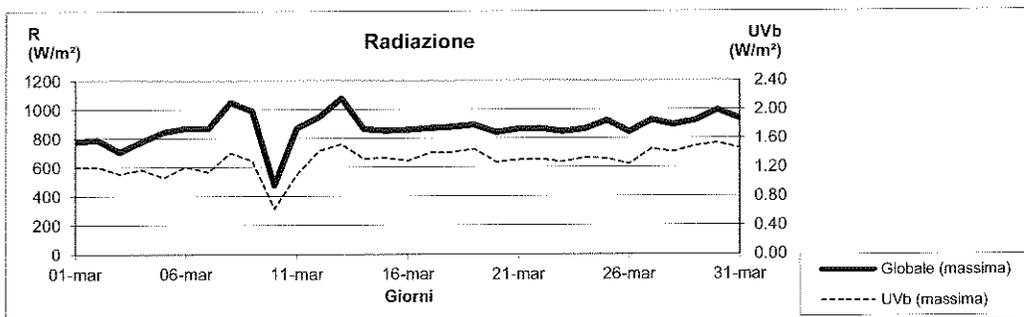
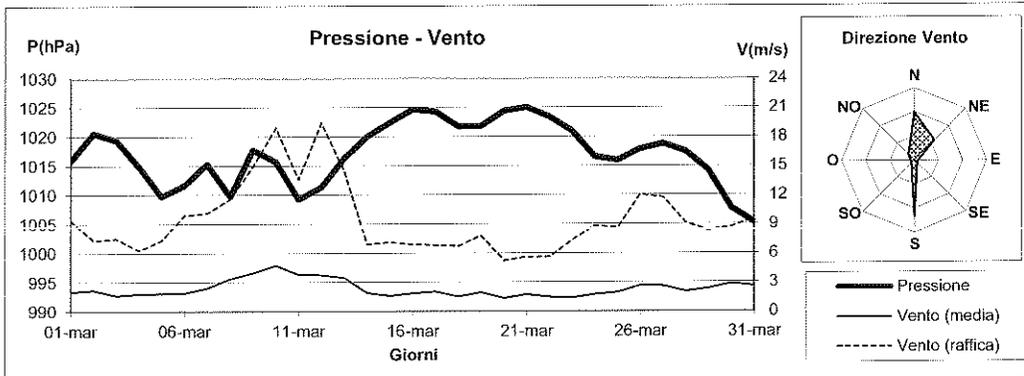
Max: 1.530 W/m² il 30/3 alle ore 11.40



MARZO 2012

(medie giornaliere)

Data	P(hPa)	DV(*N)	VV(m/s)	R(W/m ²)	UVb(W/m ²)	P _{min} (hPa)	P _{max} (hPa)	VV _{max} (m/s)	R _{max} (W/m ²)	UVb _{max} (W/m ²)
1/3/12	1015.8	0.0	2.0	219.2	0.271	1012.7	1020.0	9.4	776.9	1.200
2/3/12	1020.6	180.0	2.2	219.8	0.275	1019.4	1021.3	7.3	789.2	1.200
3/3/12	1019.4	180.0	1.6	115.7	0.175	1017.6	1021.3	7.5	704.4	1.110
4/3/12	1014.9	180.0	1.8	119.9	0.191	1011.6	1017.6	6.3	777.3	1.170
5/3/12	1009.7	180.0	1.9	193.1	0.219	1007.8	1011.6	7.3	845.8	1.060
6/3/12	1011.7	315.0	1.9	160.7	0.211	1008.7	1014.6	9.9	870.0	1.210
7/3/12	1015.3	45.0	2.4	205.1	0.241	1013.3	1017.0	10.1	867.2	1.130
8/3/12	1009.7	0.0	3.3	144.8	0.197	1007.8	1013.3	11.6	1051.4	1.400
9/3/12	1017.7	45.0	4.0	194.2	0.248	1013.3	1020.7	14.9	988.1	1.290
10/3/12	1015.7	45.0	4.8	76.2	0.100	1012.6	1020.5	18.9	477.5	0.630
11/3/12	1009.2	45.0	3.8	164.0	0.201	1007.8	1012.3	13.6	870.4	1.100
12/3/12	1011.3	45.0	3.7	246.9	0.311	1009.0	1014.0	19.4	948.4	1.430
13/3/12	1016.3	45.0	3.4	229.5	0.293	1014.0	1018.8	14.4	1077.6	1.520
14/3/12	1020.0	0.0	1.9	256.8	0.315	1018.8	1021.9	6.9	866.1	1.320
15/3/12	1022.4	180.0	1.6	253.1	0.323	1021.5	1024.1	7.1	852.6	1.330
16/3/12	1024.6	180.0	1.8	233.6	0.299	1023.7	1025.5	6.9	859.7	1.290
17/3/12	1024.3	180.0	2.0	251.1	0.335	1022.5	1025.5	6.8	871.2	1.400
18/3/12	1021.7	180.0	1.5	256.0	0.344	1020.1	1023.5	6.7	880.3	1.410
19/3/12	1021.8	180.0	1.9	235.8	0.329	1020.0	1023.7	7.8	894.6	1.450
20/3/12	1024.4	0.0	1.3	242.4	0.302	1023.4	1025.8	5.2	841.5	1.270
21/3/12	1025.1	0.0	1.7	238.0	0.305	1023.7	1026.1	5.6	865.3	1.300
22/3/12	1023.4	180.0	1.4	206.6	0.272	1022.4	1024.9	5.6	867.6	1.310
23/3/12	1021.0	0.0	1.4	242.4	0.304	1019.5	1023.1	7.3	846.2	1.270
24/3/12	1016.6	0.0	1.7	234.0	0.312	1014.6	1019.5	8.8	863.7	1.330
25/3/12	1015.9	0.0	1.9	212.1	0.277	1014.6	1017.6	8.6	923.1	1.320
26/3/12	1017.8	0.0	2.6	253.7	0.310	1017.0	1019.5	12.0	845.1	1.240
27/3/12	1018.8	0.0	2.6	283.0	0.351	1017.1	1020.1	11.7	924.3	1.450
28/3/12	1017.4	0.0	2.0	273.6	0.345	1015.9	1018.9	9.1	894.2	1.410
29/3/12	1014.3	180.0	2.3	283.0	0.373	1010.9	1017.0	8.3	922.7	1.490
30/3/12	1007.7	180.0	2.9	270.2	0.347	1006.0	1010.9	8.7	996.4	1.530
31/3/12	1005.3	180.0	2.6	279.0	0.360	1003.5	1006.6	9.5	933.4	1.460



APRILE 2012

(medie giornaliere)

Data	T(°C)	U(%)	Pg(mm)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Umin (%)	Umax (%)	Tmare (°C)
1/4/12	15.4	80.2	0.0	13.5	17.6	72.3	84.9	15.5
2/4/12	16.2	65.6	0.0	13.0	18.4	55.4	76.8	15.7
3/4/12	18.1	60.8	0.6	15.2	21.8	32.0	76.7	15.6
4/4/12	18.9	66.7	0.0	15.7	22.3	51.6	79.4	15.7
5/4/12	17.8	75.1	1.2	16.3	19.6	63.6	84.4	15.9
6/4/12	16.5	81.5	0.0	15.2	18.3	73.4	86.4	16.1
7/4/12	14.8	82.7	19.0	13.7	15.6	68.5	89.2	16.3
8/4/12	12.6	74.9	18.4	8.8	14.9	63.0	81.2	16.1
9/4/12	11.3	52.0	0.2	8.3	14.8	30.5	81.0	16.2
10/4/12	12.5	60.0	0.0	8.5	15.0	52.9	69.1	15.8
11/4/12	14.0	74.0	3.4	11.6	15.6	66.8	87.8	15.7
12/4/12	14.6	68.6	0.0	13.1	16.5	60.2	75.0	15.5
13/4/12	13.5	79.4	33.2	12.5	15.0	60.9	91.1	15.7
14/4/12	13.9	83.1	7.2	12.6	15.4	75.6	89.7	15.5
15/4/12	13.6	78.2	6.4	12.8	14.6	67.0	85.2	15.7
16/4/12	13.1	82.9	28.8	11.4	15.6	71.4	89.1	15.7
17/4/12	12.9	81.5	46.0	10.4	14.2	70.7	88.8	15.7
18/4/12	14.0	75.7	0.4	11.3	16.9	65.5	83.3	15.5
19/4/12	14.5	79.7	8.8	12.4	15.8	67.3	86.7	15.6
20/4/12	14.7	74.9	0.8	12.6	16.6	61.5	85.6	15.8
21/4/12	14.9	75.7	4.6	11.1	17.6	58.9	86.5	15.7
22/4/12	15.8	81.3	0.0	15.0	16.7	77.3	87.0	15.9
23/4/12	15.9	80.3	0.2	14.9	18.0	59.2	87.6	16.2
24/4/12	16.1	82.0	1.2	14.3	18.7	64.6	89.5	16.3
25/4/12	15.6	68.4	0.0	12.7	18.5	51.6	85.6	16.2
26/4/12	16.5	61.2	0.0	12.4	19.9	30.7	79.4	16.3
27/4/12	20.3	52.8	0.0	15.8	25.7	37.5	63.5	16.4
28/4/12	19.3	72.6	0.0	17.3	22.7	58.5	87.8	16.4
29/4/12	21.1	59.9	0.0	17.9	25.8	31.6	80.9	16.9
30/4/12	21.6	58.7	0.0	19.0	26.2	38.6	79.6	17.1

MASSIMI e MINIMI ASSOLUTI

Temperatura

Min: 8.3 °C il 9/4 alle ore 6.10

Max: 26.2 °C il 30/4 alle ore 17.20

Umidità

Min: 30.5 % il 9/4 alle ore 14.30

Max: 91.1 % il 13/4 alle ore 23.10

Pressione

Min: 979.5 hPa il 14/4 alle ore 13.20

Max: 1016.4 hPa il 26/4 alle ore 21.10

Velocità del vento

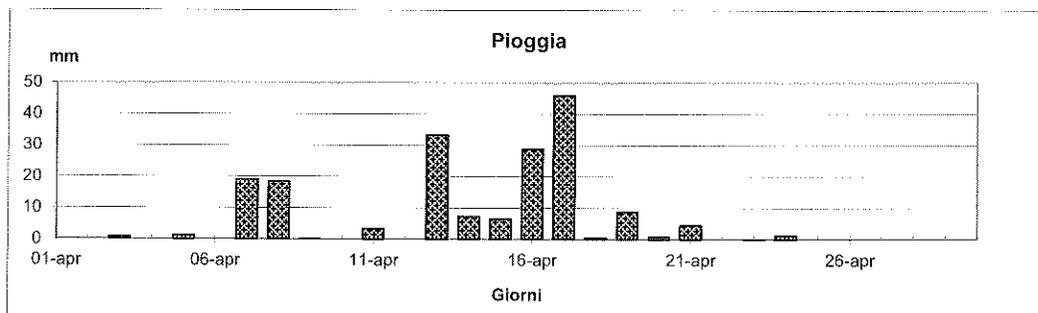
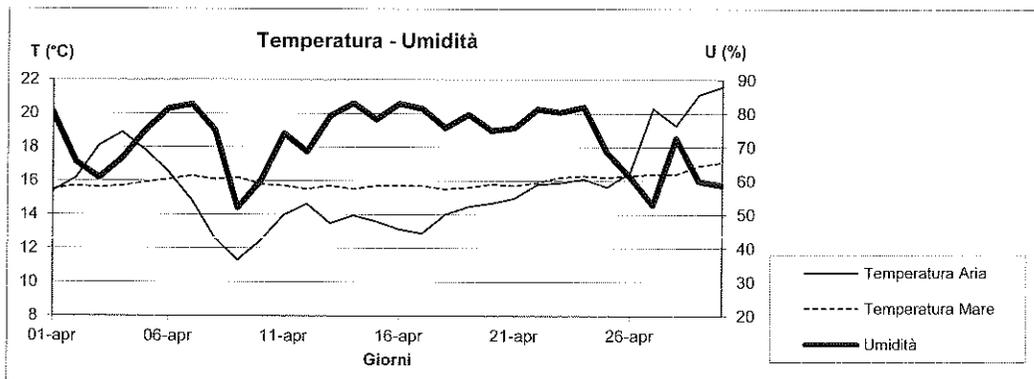
Max: 18.5 m/s il 20/4 alle ore 15.10

Radiazione totale

Max: 1164.3 W/m² il 20/4 alle ore 10.20

Radiazione UVb

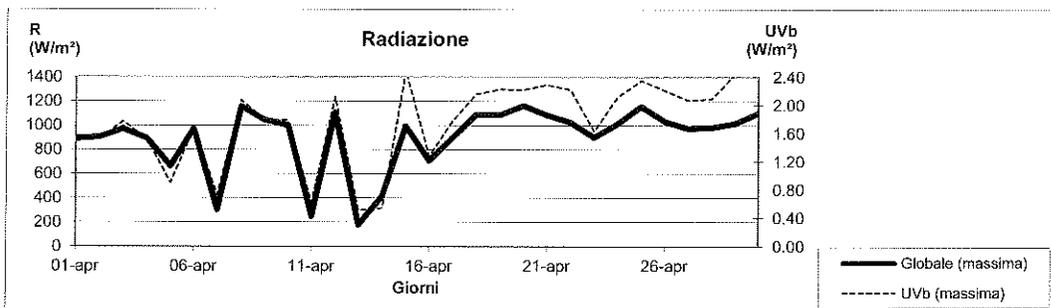
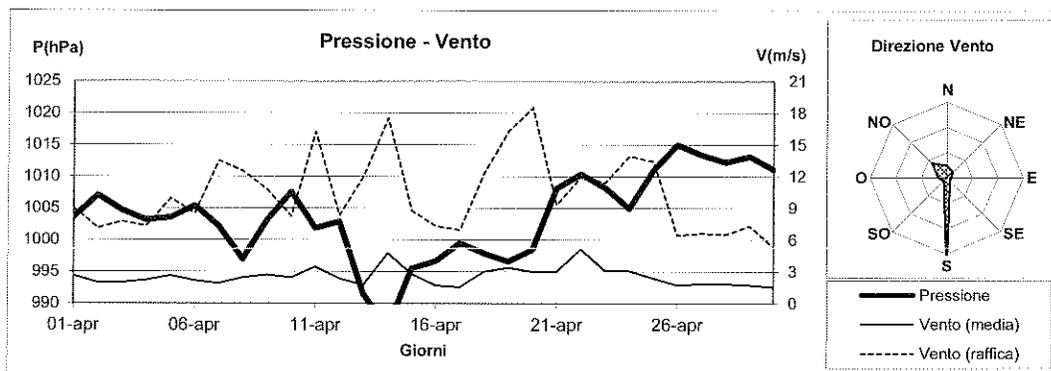
Max: 2.490 W/m² il 15/4 alle ore 12.40



APRILE 2012

(medie giornaliere)

Data	P(hPa)	DV(°N)	VV(m/s)	R(W/m²)	UVb(W/m²)	P _{min} (hPa)	P _{max} (hPa)	VV _{max} (m/s)	R _{max} (W/m²)	UVb _{max} (W/m²)
1/4/12	1003.5	180.0	2.6	198.4	0.265	1002.2	1006.6	9.0	891.4	1.520
2/4/12	1007.0	180.0	1.9	253.8	0.357	1005.9	1008.4	7.1	903.3	1.520
3/4/12	1004.7	180.0	2.0	263.9	0.378	1002.8	1006.6	7.7	971.4	1.770
4/4/12	1003.1	180.0	2.2	264.1	0.371	1001.0	1004.7	7.3	895.4	1.520
5/4/12	1003.5	180.0	2.6	103.9	0.175	1002.2	1004.7	9.9	665.2	0.900
6/4/12	1005.4	180.0	2.1	264.6	0.381	1004.1	1006.6	8.5	975.8	1.680
7/4/12	1002.2	315.0	1.9	46.0	0.099	1000.1	1005.3	13.5	302.4	0.730
8/4/12	997.0	180.0	2.4	181.7	0.288	993.0	1001.2	12.5	1158.4	2.070
9/4/12	1003.1	45.0	2.7	337.4	0.463	996.9	1007.0	10.7	1046.7	1.800
10/4/12	1007.5	180.0	2.4	331.1	0.469	1005.9	1009.0	8.2	1003.5	1.790
11/4/12	1001.8	180.0	3.4	44.6	0.091	998.4	1005.9	16.2	246.9	0.620
12/4/12	1002.8	180.0	2.3	273.1	0.441	1000.4	1004.5	8.3	1106.9	2.120
13/4/12	991.5	0.0	1.7	25.7	0.075	983.6	1000.1	12.0	178.8	0.510
14/4/12	986.1	315.0	4.7	54.8	0.107	979.5	993.7	17.5	412.9	0.540
15/4/12	995.5	180.0	2.8	155.3	0.283	993.6	997.3	8.7	996.0	2.490
16/4/12	996.7	180.0	1.7	148.9	0.252	994.9	999.1	7.3	709.2	1.280
17/4/12	999.5	180.0	1.5	83.5	0.168	997.9	1001.4	6.9	900.9	1.780
18/4/12	997.8	315.0	3.0	261.9	0.440	996.7	999.1	12.3	1091.4	2.160
19/4/12	996.6	180.0	3.4	213.6	0.377	995.4	997.9	16.3	1085.9	2.230
20/4/12	998.4	270.0	3.0	231.9	0.365	995.5	1004.0	18.5	1164.3	2.220
21/4/12	1008.1	180.0	3.0	270.8	0.474	1003.9	1011.5	9.3	1086.3	2.290
22/4/12	1010.4	180.0	5.1	191.5	0.347	1009.6	1011.3	11.9	1026.5	2.220
23/4/12	1008.2	180.0	3.1	151.4	0.279	1007.1	1010.2	11.4	900.1	1.630
24/4/12	1004.9	180.0	3.0	305.1	0.546	1003.9	1007.2	13.9	1011.8	2.120
25/4/12	1010.9	315.0	2.4	320.1	0.544	1005.2	1014.0	13.4	1156.4	2.350
26/4/12	1015.0	180.0	1.7	356.4	0.600	988.8	1016.4	6.4	1033.6	2.210
27/4/12	1013.4	0.0	1.8	336.2	0.580	999.3	1015.7	6.6	973.4	2.070
28/4/12	1012.2	180.0	1.8	328.7	0.556	1011.0	1013.9	6.5	983.3	2.090
29/4/12	1013.1	180.0	1.7	274.5	0.552	1012.2	1014.2	7.3	1015.4	2.440
30/4/12	1011.1	180.0	1.5	236.1	0.469	1009.7	1012.2	5.3	1099.4	2.410



MAGGIO 2012

(medie giornaliere)

Data	T(°C)	U(%)	Pg(mm)	T _{min} (°C)	T _{max} (°C)	U _{min} (%)	U _{max} (%)	T _{mare} (°C)
1/5/12	20.7	62.2	0.4	18.4	24.7	38.7	77.0	16.6
2/5/12	19.3	64.2	0.0	16.6	23.7	37.1	81.6	16.8
3/5/12	17.4	68.8	0.0	14.9	20.7	34.3	82.0	16.8
4/5/12	16.9	72.5	0.0	15.5	18.5	65.1	79.6	17.3
5/5/12	17.3	76.9	0.0	15.0	19.3	67.8	82.3	17.9
6/5/12	18.7	71.8	0.4	16.2	21.2	56.8	83.9	18.3
7/5/12	17.5	76.8	1.6	15.1	19.6	64.3	83.9	17.8
8/5/12	18.6	71.9	0.0	16.3	22.6	46.6	82.6	17.5
9/5/12	19.1	76.3	0.0	16.8	22.9	61.4	85.3	17.8
10/5/12	20.0	78.6	0.0	17.3	23.6	65.9	85.8	18.1
11/5/12	23.2	53.6	0.0	18.1	28.7	32.5	78.2	18.2
12/5/12	20.8	74.6	0.0	18.8	23.0	53.6	88.8	18.1
13/5/12	20.4	79.5	0.0	18.5	22.7	67.9	88.7	18.3
14/5/12	16.6	61.0	5.8	13.3	19.6	48.2	80.5	19.4
15/5/12	16.7	52.5	0.0	13.8	19.6	43.8	59.3	18.6
16/5/12								18.2
17/5/12								17.6
18/5/12	18.8	42.0	0.0	16.3	21.3	22.1	60.7	17.6
19/5/12	18.4	64.3	0.0	15.2	22.1	51.5	78.9	17.6
20/5/12	21.1	59.5	0.0	17.4	24.4	35.4	78.7	17.9
21/5/12	18.8	74.1	0.0	17.2	21.1	59.2	82.8	17.4
22/5/12	16.2	77.7	10.8	14.4	18.8	65.8	86.8	17.4
23/5/12	17.8	75.3	0.0	14.1	21.1	58.7	88.5	17.6
24/5/12	19.8	78.5	0.0	17.2	25.7	56.2	85.9	17.9
25/5/12	20.0	81.6	0.0	17.9	23.0	65.2	88.1	18.4
26/5/12	20.1	73.8	0.0	18.5	22.7	53.9	88.3	18.4
27/5/12	20.6	53.1	0.0	16.9	23.3	39.6	68.5	18.2
28/5/12	17.8	79.0	10.8	15.4	19.5	67.5	85.8	18.0
29/5/12	19.0	68.7	0.0	14.0	24.2	37.1	86.5	18.4
30/5/12	20.5	72.8	0.0	17.3	24.7	57.4	80.6	18.7
31/5/12	20.5	77.1	0.0	18.9	22.3	62.7	87.8	19.0

MASSIMI e MINIMI ASSOLUTI

Temperatura

Min: 13.3 °C il 14/5 alle ore 6.40
 Max: 28.7 °C il 11/5 alle ore 15.10

Umidità

Min: 22.1 % il 18/5 alle ore 11.00
 Max: 88.8 % il 12/5 alle ore 23.10

Pressione

Min: 986.3 hPa il 24/5 alle ore 13.20
 Max: 1018.2 hPa il 10/5 alle ore 20.50

Velocità del vento

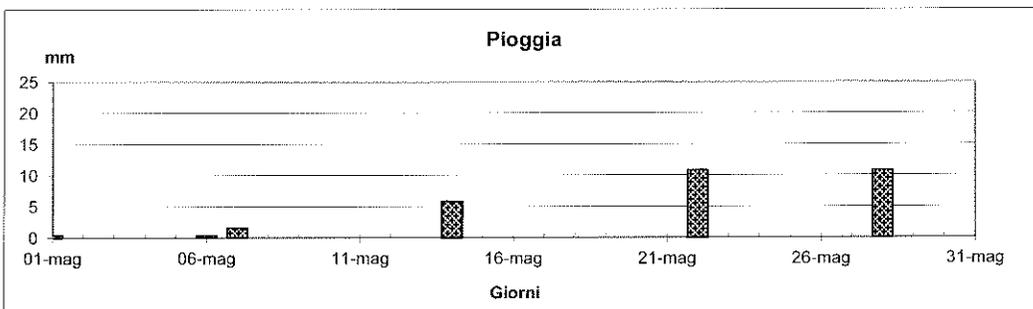
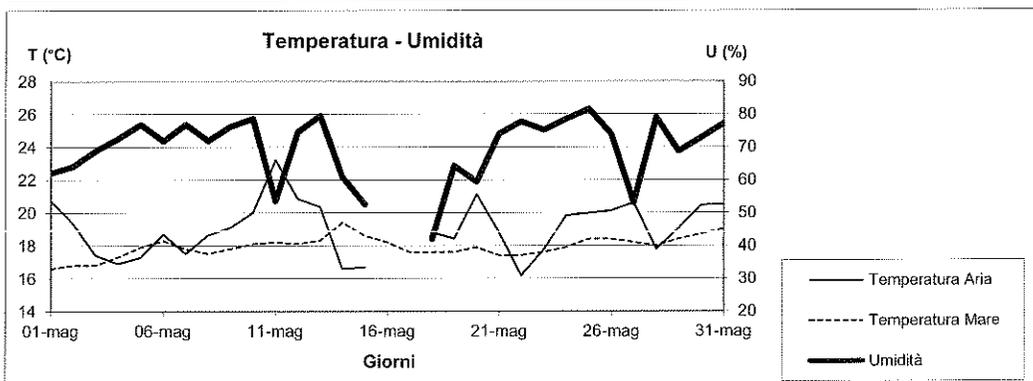
Max: 14.5 m/s il 7/5 alle ore 1.10

Radiazione totale

Max: 1203.9 W/m² il 14/5 alle ore 10.40

Radiazione UVb

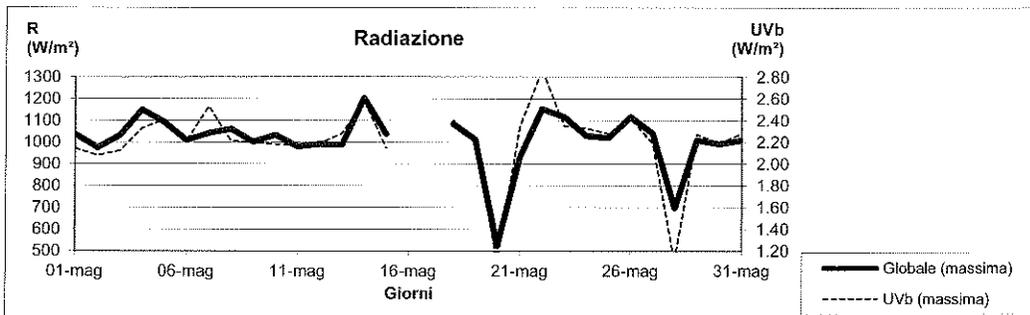
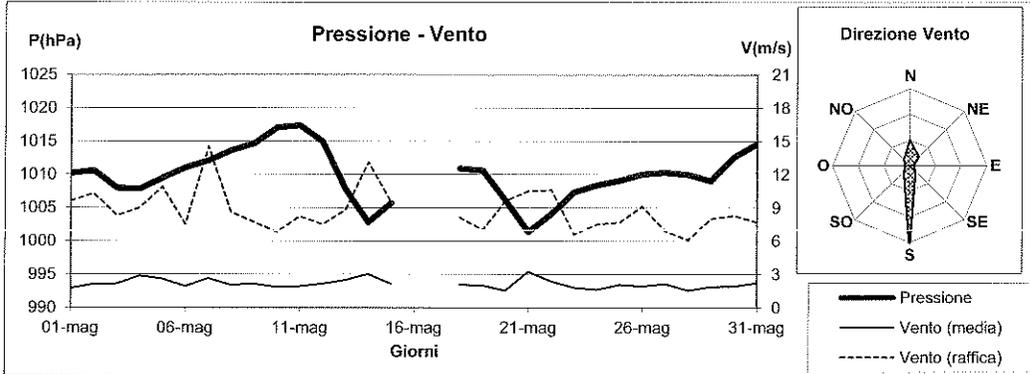
Max: 2.870 W/m² il 22/5 alle ore 12.30



MAGGIO 2012

(medie giornaliere)

Data	P(hPa)	DV(°N)	VV(m/s)	R(W/m ²)	UVb(W/m ²)	Pmin (hPa)	Pmax (hPa)	VVmax(m/s)	Rmax(W/m ²)	UVbmax(W/m ²)
1/5/12	1010.2	180.0	1.7	251.2	0.485	1009.0	1011.8	9.6	1036.8	2.140
2/5/12	1010.6	180.0	2.1	336.1	0.555	1009.1	1012.1	10.3	973.8	2.080
3/5/12	1007.9	180.0	2.2	362.3	0.584	1008.6	1009.7	8.3	1031.6	2.120
4/5/12	1007.8	180.0	2.8	372.5	0.594	1007.2	1009.0	9.0	1149.3	2.330
5/5/12	1009.5	180.0	2.6	261.9	0.480	1007.8	1011.5	10.9	1092.2	2.410
6/5/12	1011.0	180.0	1.9	272.0	0.505	1009.7	1012.7	7.5	1009.1	2.210
7/5/12	1012.1	180.0	2.6	229.7	0.416	1010.3	1014.3	14.5	1041.9	2.530
8/5/12	1013.6	180.0	2.0	363.1	0.598	1012.7	1014.1	8.6	1060.9	2.210
9/5/12	1014.7	180.0	2.1	334.1	0.584	1013.7	1016.4	7.7	1000.3	2.200
10/5/12	1017.0	180.0	1.8	332.9	0.560	1016.3	1018.2	6.8	1033.6	2.180
11/5/12	1017.4	315.0	1.9	336.3	0.573	1016.3	1018.2	8.2	979.7	2.180
12/5/12	1014.9	180.0	2.2	352.6	0.618	1012.6	1017.6	7.5	991.6	2.190
13/5/12	1007.8	225.0	2.5	338.0	0.620	1003.5	1012.2	8.8	988.5	2.280
14/5/12	1002.8	45.0	3.0	216.7	0.411	1000.3	1005.5	13.1	1203.9	2.580
15/5/12	1005.7	0.0	2.2	318.2	0.539	1004.7	1006.6	9.5	1037.6	2.150
16/5/12										
17/5/12										
18/5/12	1010.9	45.0	2.1	458.4	0.851	1009.9	1011.6	8.1	1084.7	2.400
19/5/12	1010.6	180.0	2.0	356.3	0.609	1009.1	1011.6	7.0	1013.4	2.210
20/5/12	1006.1	0.0	1.5	147.7	0.292	1000.4	1010.3	9.6	522.6	1.100
21/5/12	1001.3	180.0	3.2	166.1	0.329	999.2	1002.8	10.5	930.2	2.340
22/5/12	1004.1	180.0	2.4	190.7	0.348	1002.1	1006.7	10.6	1153.6	2.870
23/5/12	1007.3	180.0	1.8	334.3	0.580	1005.3	1009.6	6.6	1116.8	2.350
24/5/12	1008.4	135.0	1.6	281.7	0.536	986.3	1010.3	7.5	1029.7	2.330
25/5/12	1009.1	180.0	2.1	326.8	0.614	1008.0	1010.3	7.7	1019.7	2.280
26/5/12	1010.0	0.0	1.9	258.9	0.510	1009.0	1010.9	9.1	1116.4	2.420
27/5/12	1010.3	0.0	2.1	301.6	0.509	1009.1	1010.9	6.9	1041.5	2.190
28/5/12	1010.0	180.0	1.5	111.1	0.194	1009.0	1010.9	6.1	695.3	1.110
29/5/12	1009.1	0.0	1.9	372.0	0.649	1007.9	1010.3	8.0	1009.8	2.270
30/5/12	1012.6	180.0	1.9	353.0	0.624	1010.3	1014.6	8.3	992.0	2.190
31/5/12	1014.6	180.0	2.2	310.3	0.606	1013.5	1016.4	7.7	1009.8	2.280



GIUGNO 2012

(medie giornaliere)

Data	T(°C)	U(%)	Pg(mm)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Umin (%)	Umax (%)	Tmare (°C)
1/6/12	20.0	78.3	0.0	18.3	21.6	62.7	85.4	19.2
2/6/12	20.5	81.1	0.0	18.5	22.3	71.0	85.4	20.1
3/6/12	21.8	74.0	0.0	19.0	25.1	51.6	87.1	20.4
4/6/12	21.4	74.8	0.6	19.1	23.4	58.7	88.2	20.7
5/6/12	21.3	64.4	0.0	19.1	24.6	46.0	74.4	20.5
6/6/12	21.3	72.0	0.0	19.2	24.1	62.9	80.0	20.8
7/6/12	22.0	67.4	0.0	19.2	25.7	48.6	82.6	20.9
8/6/12	24.3	50.5	0.0	20.0	29.5	19.1	70.9	21.2
9/6/12	24.7	55.0	0.0	22.6	28.3	35.3	77.3	21.1
10/6/12	23.1	65.5	0.0	21.2	26.9	24.5	82.0	21.2
11/6/12	22.1	73.6	0.0	20.8	23.6	64.9	79.7	20.5
12/6/12	23.0	68.0	0.0	21.1	24.8	52.4	84.1	21.4
13/6/12	21.2	64.1	0.0	19.4	23.3	52.6	74.0	21.7
14/6/12	21.5	64.5	0.0	18.8	24.5	47.9	72.6	21.5
15/6/12	23.6	57.2	0.0	19.4	27.7	41.0	75.2	21.8
16/6/12	26.2	50.2	0.0	21.6	31.0	26.6	72.5	22.3
17/6/12	25.9	59.5	0.0	22.4	31.4	39.7	79.8	22.4
18/6/12	26.7	64.9	0.0	23.4	33.0	32.6	79.7	23.3
19/6/12	27.2	63.6	0.0	23.8	33.5	34.2	79.0	22.9
20/6/12	26.7	67.7	0.0	24.6	30.6	42.4	82.2	23.1
21/6/12	26.4	71.2	0.0	24.1	30.5	31.7	86.9	23.0
22/6/12	26.4	67.4	0.0	22.9	31.2	44.5	80.5	23.2
23/6/12	25.8	79.3	0.0	24.5	27.4	68.5	89.5	23.7
24/6/12	26.2	75.8	0.0	24.1	28.7	38.7	90.1	24.0
25/6/12	25.1	76.2	0.0	23.9	26.6	63.8	81.8	24.6
26/6/12	26.2	67.9	0.0	23.0	28.7	55.2	81.6	24.3
27/6/12	28.9	48.2	0.0	25.8	32.7	28.3	64.6	24.2
28/6/12	28.2	56.1	0.0	26.2	31.3	41.2	70.3	23.9
29/6/12	28.4	60.7	0.0	25.1	32.6	38.2	80.5	24.8
30/6/12	28.5	62.2	0.0	25.0	34.0	33.7	81.7	24.4

MASSIMI e MINIMI ASSOLUTI

Temperatura

Min: 18.3 °C il 1/6 alle ore 3.10

Max: 34 °C il 30/6 alle ore 15.10

Umidità

Min: 19.1 % il 8/6 alle ore 16.10

Max: 90.1 % il 24/6 alle ore 0.50

Pressione

Min: 992.9 hPa il 26/6 alle ore 8.50

Max: 1015.1 hPa il 15/6 alle ore 7.40

Velocità del vento

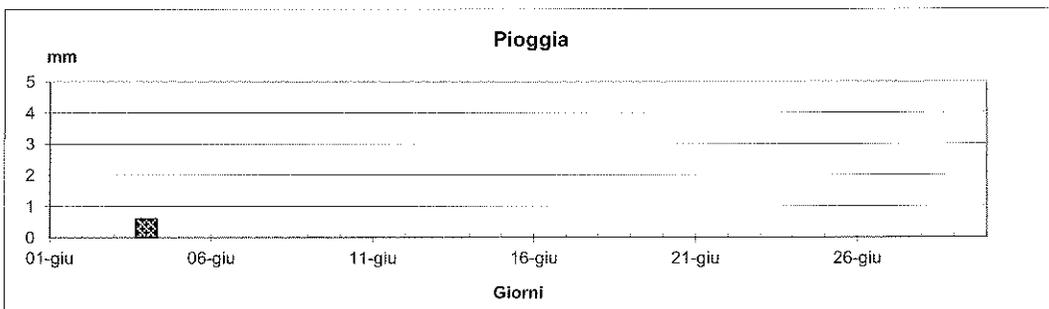
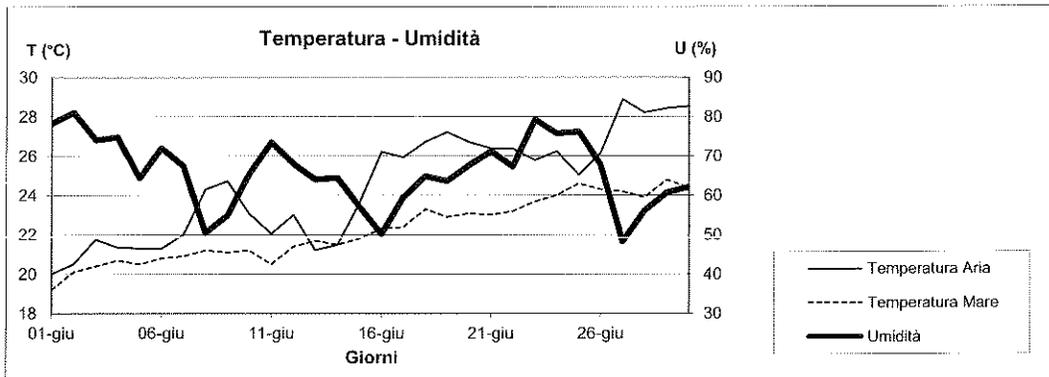
Max: 14 m/s il 4/6 alle ore 12.50

Radiazione totale

Max: 1154 W/m² il 4/6 alle ore 10.40

Radiazione UVb

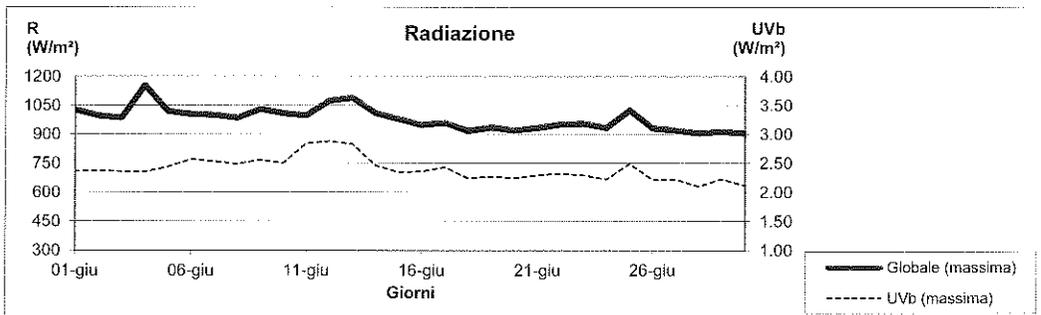
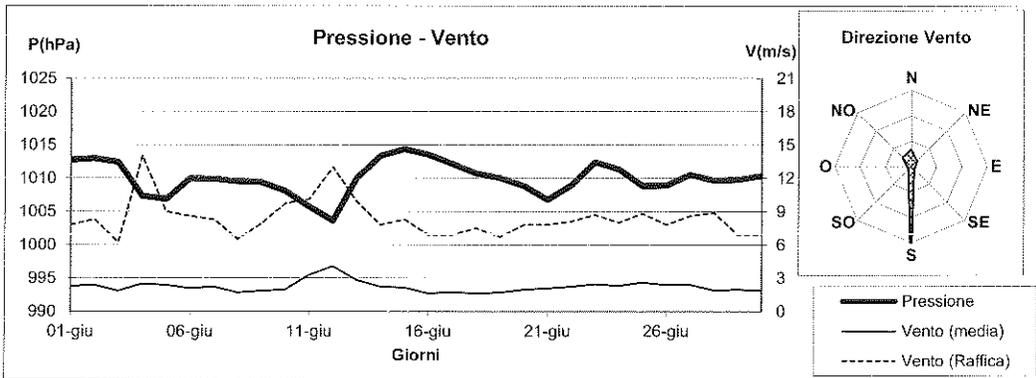
Max: 2.88 W/m² il 12/6 alle ore 12.20



GIUGNO 2012

(medie giornaliere)

Data	P(hPa)	DV(°N)	VV(m/s)	R(W/m²)	UVb(W/m²)	Pmin (hPa)	Pmax (hPa)	VVmax(m/s)	Rmax(W/m²)	UVbmax(W/m²)
1/6/12	1012.7	180.0	2.3	338.3	0.626	1012.0	1014.0	7.8	1027.7	2.360
2/6/12	1013.0	180.0	2.4	361.4	0.673	1012.2	1014.0	8.3	996.4	2.370
3/6/12	1012.4	180.0	1.8	362.7	0.675	1010.3	1013.6	6.2	984.9	2.360
4/6/12	1007.3	180.0	2.5	204.7	0.392	1005.9	1010.3	14.0	1154.0	2.350
5/6/12	1006.9	180.0	2.4	372.8	0.702	1004.7	1009.7	9.0	1019.4	2.440
6/6/12	1009.9	180.0	2.1	361.3	0.735	1009.1	1010.9	8.6	1005.5	2.570
7/6/12	1009.9	180.0	2.2	368.5	0.739	1008.4	1010.9	8.3	999.9	2.530
8/6/12	1009.5	0.0	1.7	323.4	0.668	1008.4	1010.9	6.5	985.7	2.490
9/6/12	1009.4	180.0	1.8	269.9	0.562	1008.4	1010.9	7.9	1031.2	2.560
10/6/12	1008.1	315.0	2.0	313.2	0.640	1006.9	1009.7	9.7	1009.4	2.500
11/6/12	1005.8	180.0	3.3	315.1	0.691	1004.1	1007.2	10.1	998.8	2.840
12/6/12	1003.6	180.0	4.1	322.6	0.689	1002.7	1005.9	13.0	1074.0	2.880
13/6/12	1010.0	315.0	2.8	295.8	0.593	1005.9	1013.4	9.9	1089.5	2.830
14/6/12	1013.3	180.0	2.2	371.0	0.711	1012.7	1014.6	7.8	1009.1	2.460
15/6/12	1014.4	0.0	2.1	361.3	0.686	1013.5	1015.1	8.3	979.3	2.340
16/6/12	1013.6	180.0	1.6	355.2	0.691	1012.7	1014.6	6.9	948.4	2.360
17/6/12	1012.2	180.0	1.7	350.1	0.692	1010.9	1013.4	6.9	959.1	2.430
18/6/12	1010.7	180.0	1.6	340.4	0.644	1009.0	1011.6	7.5	917.2	2.240
19/6/12	1010.0	180.0	1.7	342.6	0.657	1009.0	1010.9	6.7	934.6	2.270
20/6/12	1008.8	180.0	2.0	331.2	0.635	1006.6	1010.3	7.8	920.3	2.240
21/6/12	1006.7	180.0	2.1	337.6	0.646	1005.8	1007.8	7.8	934.2	2.290
22/6/12	1009.0	180.0	2.2	353.5	0.682	1007.5	1011.5	8.1	950.0	2.320
23/6/12	1012.4	180.0	2.4	351.7	0.662	1011.5	1013.3	8.7	954.4	2.290
24/6/12	1011.3	180.0	2.3	346.6	0.645	1009.6	1012.7	8.0	932.6	2.220
25/6/12	1008.8	180.0	2.6	346.8	0.651	1007.3	1010.3	8.8	1024.9	2.490
26/6/12	1008.9	180.0	2.4	346.9	0.646	992.9	1010.9	7.8	930.6	2.210
27/6/12	1010.6	0.0	2.4	335.3	0.642	1009.2	1011.5	8.6	920.7	2.220
28/6/12	1009.7	180.0	1.9	320.7	0.592	1008.4	1010.3	8.9	904.9	2.100
29/6/12	1009.8	45.0	1.9	333.6	0.636	1008.6	1010.9	6.9	913.2	2.230
30/6/12	1010.4	180.0	1.9	328.9	0.607	1009.0	1010.9	6.9	906.1	2.110



LUGLIO 2012

(medie giornaliere)

Data	T(°C)	U(%)	Pg(mm)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Umin (%)	Umax (%)	Tmare (°C)
1/7/12	28.3	69.8	0.0	26.0	32.1	53.3	79.5	25.0
2/7/12	27.8	72.3	0.0	26.1	30.9	54.3	81.6	26.1
3/7/12	27.3	70.0	0.0	25.4	30.1	48.6	85.9	25.1
4/7/12	26.2	63.6	0.0	23.8	29.1	38.3	77.7	24.3
5/7/12	26.3	62.1	0.0	23.4	29.6	37.7	79.6	24.3
6/7/12	25.7	67.7	0.0	23.4	28.5	54.7	76.4	24.5
7/7/12	26.6	68.9	0.0	24.1	30.3	48.3	79.0	24.7
8/7/12	27.4	64.9	0.0	24.5	32.2	39.9	80.4	24.7
9/7/12	25.4	73.5	0.0	24.8	26.3	66.7	77.4	25.0
10/7/12	28.0	61.2	0.0	25.3	31.9	41.7	76.9	25.4
11/7/12	27.7	68.8	0.0	24.7	30.6	48.5	78.0	25.3
12/7/12	28.3	65.6	3.6	25.6	31.2	48.8	76.1	25.1
13/7/12	27.3	66.6	0.0	24.4	30.5	38.5	83.4	24.2
14/7/12	26.6	72.0	0.0	24.3	29.1	60.9	78.0	23.4
15/7/12	27.6	72.0	0.0	24.4	30.2	48.4	80.9	24.6
16/7/12	26.1	67.1	0.0	23.9	29.0	52.5	78.9	23.3
17/7/12	27.8	44.9	0.0	24.9	31.8	31.5	56.2	23.0
18/7/12	29.0	37.5	0.0	25.1	33.8	25.2	59.2	22.2
19/7/12	27.9	50.8	0.0	25.6	30.6	36.8	68.3	22.5
20/7/12	26.5	69.8	0.0	24.1	31.1	35.8	81.7	23.0
21/7/12	27.2	59.0	0.0	24.6	30.3	32.0	81.7	23.5
22/7/12	27.1	61.6	0.0	24.9	31.0	40.6	81.7	23.3
23/7/12	23.7	69.6	19.8	19.6	29.4	43.0	83.3	23.1
24/7/12	23.5	69.4	8.8	18.8	26.5	54.4	85.1	23.1
25/7/12	24.8	70.0	0.0	21.9	28.0	51.3	80.5	22.9
26/7/12	25.9	73.1	0.0	23.4	29.9	48.4	85.4	22.9
27/7/12	27.6	66.6	0.0	23.5	33.5	36.9	86.1	23.2
28/7/12	27.1	72.2	0.0	25.2	31.5	56.4	86.1	23.6
29/7/12	27.3	76.9	0.0	24.3	30.5	49.0	89.2	24.0
30/7/12	26.9	81.8	0.0	25.1	30.2	67.8	91.6	24.3
31/7/12	27.8	69.2	0.0	24.7	33.2	29.1	87.5	24.5

MASSIMI e MINIMI ASSOLUTI

Temperatura

Min: 18.8 °C il 24/7 alle ore 2.20
 Max: 33.8 °C il 18/7 alle ore 18.30

Umidità

Min: 25.2 % il 18/7 alle ore 14.40
 Max: 91.6 % il 30/7 alle ore 2.20

Pressione

Min: 996 hPa il 19/7 alle ore 8.30
 Max: 1014.6 hPa il 17/7 alle ore 2.30

Velocità del vento

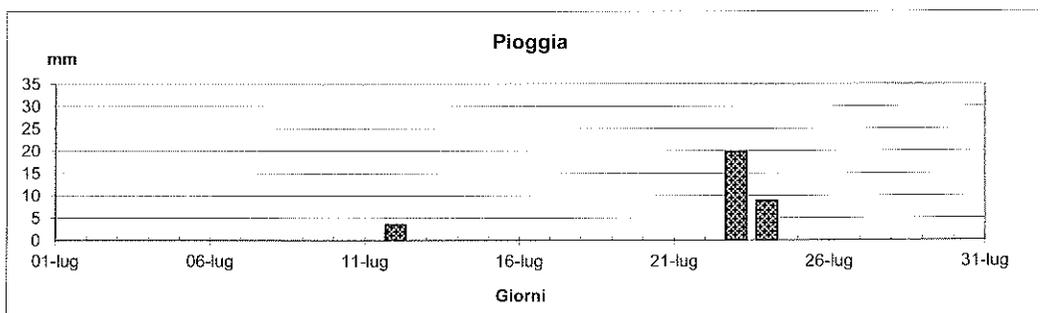
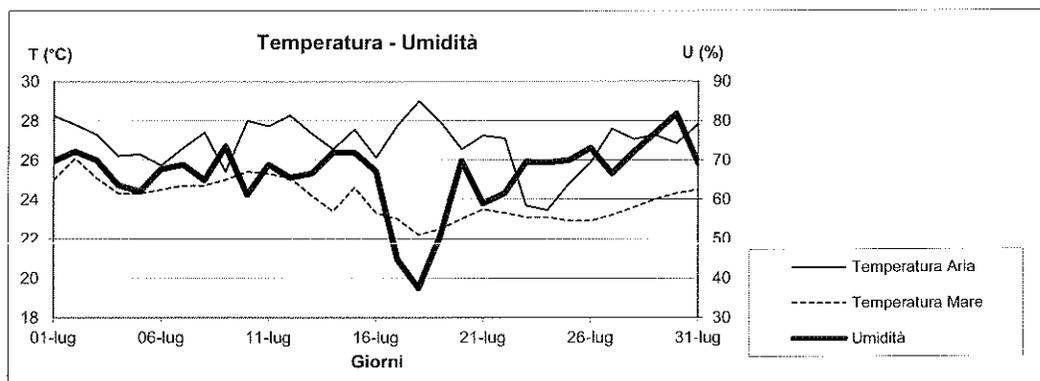
Max: 12.9 m/s il 23/7 alle ore 14.10

Radiazione totale

Max: 1012.6 W/m² il 25/7 alle ore 12.20

Radiazione UVb

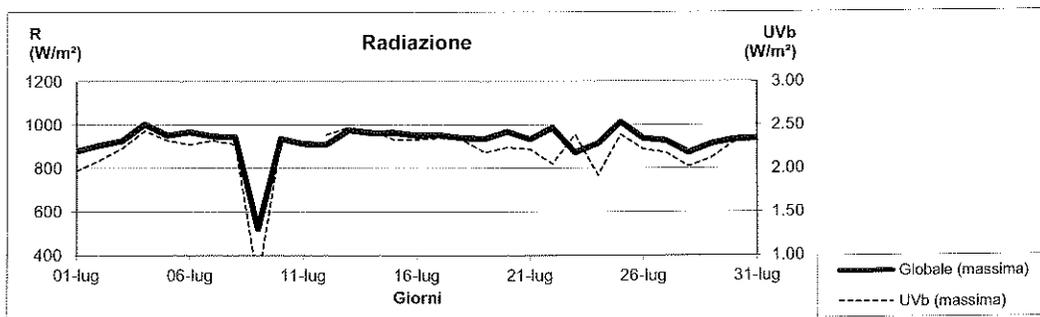
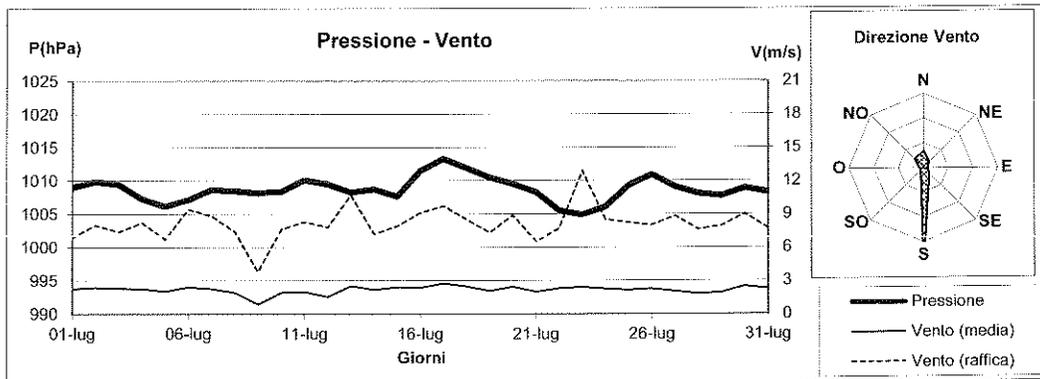
Max: 2.470 W/m² il 13/7 alle ore 13.00



LUGLIO 2012

(medie giornaliere)

Data	P(hPa)	DV(°N)	VV(m/s)	R(W/m ²)	UVb(W/m ²)	P _{min} (hPa)	P _{max} (hPa)	VV _{max} (m/s)	R _{max} (W/m ²)	UVb _{max} (W/m ²)
1/7/12	1009.0	180.0	2.3	321.4	0.570	1007.2	1009.9	6.9	878.7	1.970
2/7/12	1009.8	180.0	2.4	332.0	0.604	1009.0	1010.9	8.0	904.5	2.090
3/7/12	1009.5	180.0	2.3	335.1	0.633	1007.8	1010.9	7.4	926.7	2.230
4/7/12	1007.3	180.0	2.2	351.9	0.653	1005.9	1009.0	8.2	1003.5	2.430
5/7/12	1006.1	180.0	2.0	348.1	0.660	1005.1	1006.9	6.7	951.6	2.320
6/7/12	1007.1	180.0	2.4	360.4	0.658	1006.0	1009.0	9.4	967.5	2.270
7/7/12	1008.7	180.0	2.3	353.5	0.664	1008.2	1009.1	8.8	948.4	2.320
8/7/12	1008.5	180.0	1.9	347.5	0.662	1007.1	1009.0	7.4	943.7	2.270
9/7/12	1008.1	0.0	0.9	85.6	0.097	1007.7	1008.4	3.8	519.8	0.710
10/7/12	1008.4	180.0	1.9	324.0	0.625	1007.0	1010.3	7.6	936.6	2.310
11/7/12	1010.1	180.0	2.0	299.8	0.904	1009.1	1011.2	8.3	911.9	
12/7/12	1009.4	315.0	1.6	219.6	0.396	1007.7	1011.0	7.8	909.5	2.390
13/7/12	1008.3	315.0	2.5	359.9	0.709	1007.3	1009.7	10.7	976.4	2.470
14/7/12	1008.7	180.0	2.2	353.2	0.697	1007.8	1009.5	7.2	962.7	2.440
15/7/12	1007.7	180.0	2.4	345.5	0.668	1006.4	1009.4	7.9	964.6	2.330
16/7/12	1011.5	180.0	2.4	347.2	0.677	1009.7	1013.3	9.1	951.7	2.330
17/7/12	1013.3	45.0	2.8	336.5	0.642	1011.4	1014.6	9.7	952.4	2.350
18/7/12	1011.9	0.0	2.5	341.5	0.655	1009.7	1013.4	8.5	939.5	2.330
19/7/12	1010.5	180.0	2.1	290.0	0.539	996.0	1012.5	7.3	935.1	2.180
20/7/12	1009.5	180.0	2.5	311.3	0.557	1008.5	1010.3	8.9	968.6	2.240
21/7/12	1008.3	180.0	2.0	336.5	0.624	1007.2	1009.7	6.5	933.6	2.220
22/7/12	1005.5	180.0	2.3	269.2	0.490	1003.4	1007.9	7.7	986.7	2.050
23/7/12	1004.9	0.0	2.4	149.4	0.333	1002.8	1007.5	12.9	873.0	2.390
24/7/12	1006.1	0.0	2.2	239.9	0.447	1004.1	1007.8	8.5	915.1	1.920
25/7/12	1009.3	180.0	2.1	318.5	0.594	1007.8	1011.5	8.2	1012.6	2.390
26/7/12	1010.9	180.0	2.3	325.5	0.613	1009.6	1011.5	8.0	937.9	2.220
27/7/12	1009.1	135.0	2.0	328.5	0.628	1007.1	1010.7	8.8	928.0	2.180
28/7/12	1008.1	180.0	1.8	313.0	0.574	1007.2	1008.5	7.6	873.0	2.020
29/7/12	1007.7	180.0	1.9	313.0	0.591	1006.5	1009.1	7.9	912.7	2.120
30/7/12	1008.9	180.0	2.5	334.0	0.640	1007.8	1009.7	9.0	933.2	2.300
31/7/12	1008.3	180.0	2.3	329.9	0.633	1006.6	1009.4	7.7	937.9	2.320



AGOSTO 2012

(medie giornaliere)

Data	T(°C)	U(%)	Pg(mm)	Tmin(°C)	Tmax(°C)	Umin(%)	Umax(%)	Tmare(°C)
1/8/12	29.2	55.0	0.0	25.6	33.4	39.8	76.0	25.0
2/8/12	28.0	71.9	0.0	26.4	31.7	50.9	81.7	25.2
3/8/12	27.6	71.8	0.0	25.4	30.3	56.5	80.3	25.4
4/8/12	28.3	59.0	0.0	25.3	31.6	36.7	72.0	25.5
5/8/12	29.7	44.8	0.0	26.0	33.0	27.5	62.0	25.5
6/8/12	31.3	39.3	0.0	27.4	35.5	21.7	60.6	25.3
7/8/12	30.3	53.0	0.0	26.2	35.4	32.7	72.8	25.3
8/8/12	28.8	63.9	0.0	27.1	31.1	38.8	79.2	25.6
9/8/12	28.7	60.1	0.0	25.0	33.9	42.3	77.3	25.4
10/8/12	28.2	63.4	0.0	25.8	31.1	44.1	80.9	25.8
11/8/12	28.3	41.6	0.0	24.9	31.9	27.0	60.8	25.2
12/8/12	27.6	44.9	0.0	25.2	30.2	30.2	71.4	25.3
13/8/12	27.7	58.6	0.0	24.8	30.5	34.4	75.8	25.4
14/8/12	28.2	57.2	0.0	25.2	31.9	40.4	70.1	25.3
15/8/12	28.2	66.7	0.0	24.9	32.1	45.7	79.6	25.2
16/8/12	27.1	74.3	0.0	25.2	29.5	58.2	83.4	25.5
17/8/12	29.2	69.0	0.0	25.9	34.5	46.5	82.5	25.9
18/8/12	31.3	42.5	0.0	27.7	35.4	27.6	70.0	25.7
19/8/12	30.8	36.0	0.0	28.3	35.1	30.0	48.2	25.1
20/8/12	30.0	44.2	0.0	26.9	34.1	26.3	71.5	25.2
21/8/12	28.7	62.6	0.0	25.7	32.3	44.6	79.1	25.1
22/8/12	28.1	75.9	0.0	25.7	31.7	62.7	83.8	25.5
23/8/12	28.2	76.9	0.0	25.9	31.0	61.1	84.9	25.9
24/8/12	28.0	76.5	0.0	26.1	30.6	64.4	87.3	25.9
25/8/12	28.1	68.8	0.0	25.2	31.3	47.8	81.5	25.9
26/8/12	27.4	75.1	0.0	25.3	29.4	68.3	82.5	26.0
27/8/12	28.5	49.4	0.0	25.4	32.9	26.1	78.7	26.3
28/8/12	27.2	48.7	0.0	24.1	30.7	27.6	74.2	25.9
29/8/12	26.9	69.1	0.0	24.4	31.0	46.5	77.2	25.9
30/8/12	27.1	70.0	0.0	24.7	31.2	45.9	78.7	25.9
31/8/12	25.9	77.9	13.0	22.9	28.6	66.1	83.8	25.6

MASSIMI e MINIMI ASSOLUTI

Temperatura

Min: 22.9 °C il 31/8 alle ore 20.40

Max: 35.5 °C il 6/8 alle ore 9.40

Umidità

Min: 21.7 % il 6/8 alle ore 14.40

Max: 87.3 % il 24/8 alle ore 7.0

Pressione

Min: 1005.4 hPa il 11/8 alle ore 15.0

Max: 1015.2 hPa il 20/8 alle ore 8.00

Velocità del vento

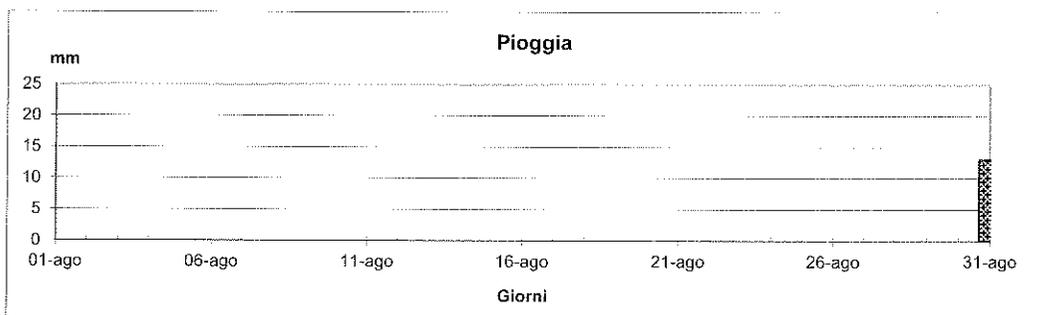
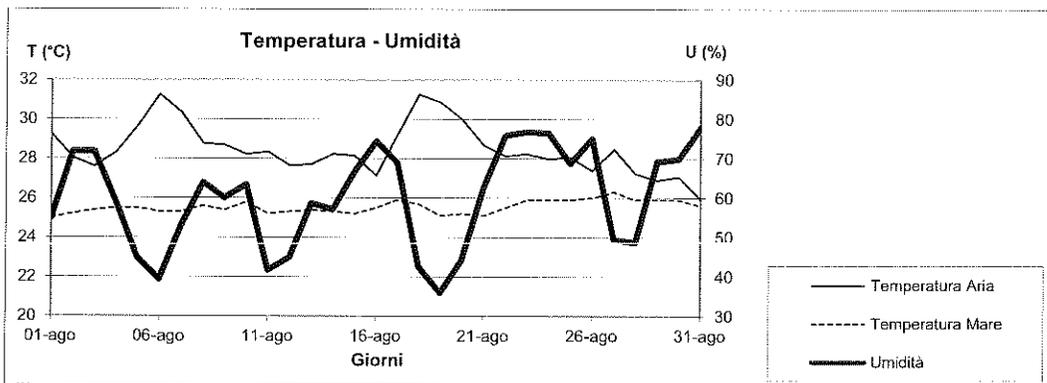
Max: 14.9 m/s il 10/8 alle ore 16.00

Radiazione totale

Max: 931.6 W/m² il 12/8 alle ore 11.40

Radiazione UVb

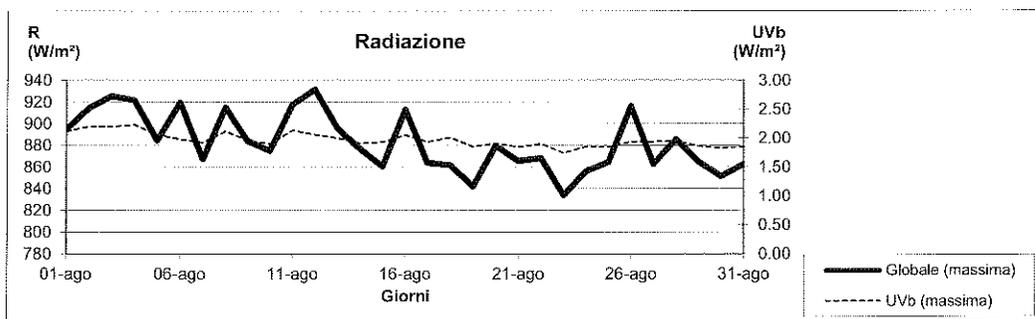
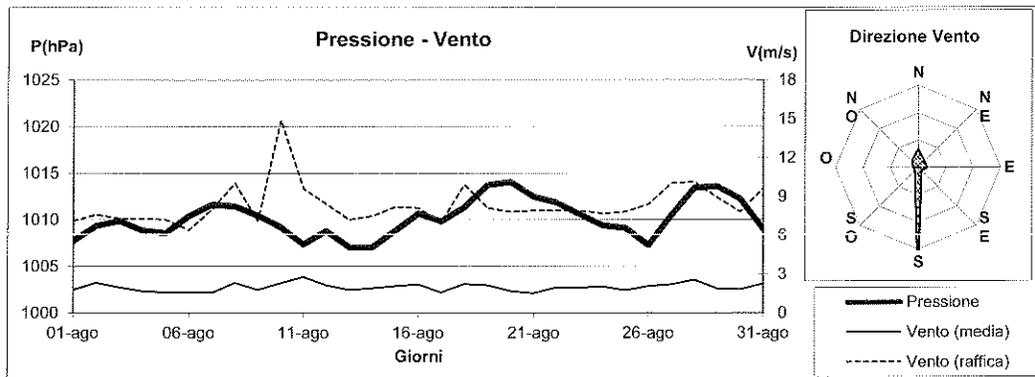
Max: 2.230 W/m² il 4/8 alle ore 12.0



AGOSTO 2012

(medie giornaliere)

Data	P(hPa)	DV(°N)	VV(m/s)	R(W/m²)	UVb(W/m²)	Pmin (hPa)	Pmax (hPa)	VVmax(m/s)	Rmax(W/m²)	UVbmax(W/m²)
1/8/12	1007.7	180.0	1.8	318.5	0.598	1006.1	1009.1	7.1	895.0	2.120
2/8/12	1009.3	180.0	2.3	331.8	0.623	1008.4	1010.3	7.6	914.3	2.200
3/8/12	1009.9	180.0	2.0	330.1	0.618	1008.5	1010.3	7.3	925.3	2.200
4/8/12	1008.8	180.0	1.7	325.8	0.614	1007.8	1009.7	7.3	921.7	2.230
5/8/12	1008.6	180.0	1.6	311.7	0.574	1007.8	1009.7	7.2	884.4	2.060
6/8/12	1010.4	0.0	1.6	274.4	0.477	1008.9	1012.2	6.4	919.8	1.980
7/8/12	1011.6	180.0	1.5	260.6	0.459	1010.4	1012.2	8.0	867.1	1.920
8/8/12	1011.5	180.0	2.3	319.9	0.591	1010.3	1012.2	10.0	915.1	2.120
9/8/12	1010.5	180.0	1.8	307.4	0.538	1008.4	1011.6	7.1	884.0	1.960
10/8/12	1009.2	180.0	2.3	292.5	0.516	1007.2	1010.3	14.9	874.9	1.900
11/8/12	1007.3	0.0	2.8	313.1	0.563	1005.4	1008.5	9.6	917.8	2.130
12/8/12	1008.8	180.0	2.1	301.8	0.523	1007.9	1009.3	8.4	931.6	2.060
13/8/12	1007.0	180.0	1.8	302.1	0.539	1005.4	1008.5	7.2	895.8	2.000
14/8/12	1007.0	180.0	1.9	301.0	0.517	1006.0	1009.1	7.5	876.9	1.910
15/8/12	1008.8	180.0	2.1	298.9	0.519	1007.8	1010.4	8.2	860.4	1.930
16/8/12	1010.7	180.0	2.2	307.7	0.553	1009.7	1011.5	8.1	913.1	2.050
17/8/12	1009.8	180.0	1.6	289.0	0.522	1007.8	1011.3	7.0	863.9	1.940
18/8/12	1011.3	315.0	2.2	289.5	0.530	1010.2	1013.4	9.9	861.5	2.010
19/8/12	1013.7	0.0	2.1	284.5	0.485	1012.3	1014.6	8.1	841.9	1.850
20/8/12	1014.1	180.0	1.7	294.0	0.509	1012.7	1015.2	7.8	879.3	1.910
21/8/12	1012.5	180.0	1.5	291.1	0.492	1010.9	1014.0	7.9	865.5	1.840
22/8/12	1011.8	180.0	2.0	292.5	0.502	1010.3	1012.7	7.9	868.2	1.900
23/8/12	1010.6	180.0	1.9	282.3	0.471	1009.1	1011.9	7.9	834.0	1.740
24/8/12	1009.4	180.0	2.0	286.9	0.488	1008.4	1010.3	7.7	856.0	1.850
25/8/12	1009.1	180.0	1.8	292.5	0.498	1007.8	1010.3	7.8	864.3	1.840
26/8/12	1007.3	180.0	2.1	246.7	0.466	1005.9	1008.8	8.4	916.2	1.940
27/8/12	1010.5	90.0	2.2	286.2	0.513	1008.4	1014.4	10.0	862.7	1.940
28/8/12	1013.4	45.0	2.5	293.9	0.508	1012.2	1014.2	10.1	885.5	1.960
29/8/12	1013.6	180.0	1.9	287.2	0.487	1012.7	1014.6	8.9	864.7	1.860
30/8/12	1012.2	180.0	1.8	282.2	0.480	1010.3	1014.0	7.8	851.3	1.830
31/8/12	1009.0	180.0	2.3	262.9	0.464	1006.6	1010.9	9.6	862.3	1.840



SETTEMBRE 2012

(medie giornaliere)

Data	T(°C)	U(%)	Pg(mm)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Umin (%)	Umax (%)	Tmare (°C)
1/9/12	23.1	61.6	0.6	20.4	24.6	54.7	72.4	25.7
2/9/12	24.7	54.4	0.0	19.8	28.7	37.8	70.2	24.8
3/9/12	23.1	77.1	18.6	20.2	25.8	63.8	86.5	24.5
4/9/12	23.8	73.3	0.2	20.8	25.7	63.2	81.6	24.6
5/9/12	23.7	75.2	21.0	20.9	25.7	66.4	83.9	24.3
6/9/12	24.3	73.9	0.4	21.8	27.2	60.1	85.8	24.7
7/9/12	26.3	56.5	0.0	22.7	30.5	39.3	70.8	24.7
8/9/12	25.2	63.0	0.0	22.8	27.6	52.0	76.4	24.5
9/9/12	24.5	76.2	0.0	22.2	27.0	61.0	82.2	24.5
10/9/12	24.6	72.5	0.0	22.3	28.8	42.1	82.6	24.6
11/9/12	24.5	73.7	0.0	21.2	28.0	56.7	82.5	24.4
12/9/12	24.4	76.4	0.0	23.1	26.1	67.1	84.3	24.3
13/9/12	21.8	77.9	10.4	19.9	24.4	70.3	84.2	24.2
14/9/12	19.1	76.2	16.0	16.3	22.0	60.3	85.7	24.1
15/9/12	22.2	66.2	0.0	18.7	26.2	49.2	82.4	24.1
16/9/12	22.8	55.2	0.0	20.1	25.9	43.3	62.8	24.3
17/9/12	22.8	54.6	0.0	19.8	26.3	41.9	67.8	24.3
18/9/12	22.5	65.5	0.0	20.4	24.7	56.0	74.5	24.4
19/9/12	22.4	75.4	0.0	20.3	24.2	70.1	80.3	24.1
20/9/12	22.6	65.9	3.8	19.7	26.2	48.5	85.1	23.8
21/9/12	21.4	51.8	0.0	18.1	25.2	36.8	71.1	23.7
22/9/12	21.9	69.1	0.0	18.9	24.2	59.2	79.7	23.9
23/9/12	24.9	59.6	0.0	20.1	28.7	50.0	74.7	23.8
24/9/12	25.6	65.3	0.0	22.0	29.1	52.8	86.6	23.8
25/9/12	24.3	76.0	0.0	23.0	25.5	59.2	87.5	23.7
26/9/12	26.1	64.4	0.0	23.4	28.8	43.6	87.0	23.7
27/9/12	26.9	60.5	0.0	25.1	29.2	41.5	73.1	23.8
28/9/12	28.3	42.5	0.0	24.0	32.7	26.6	61.3	23.8
29/9/12	28.4	38.0	0.0	25.2	33.8	21.3	52.9	23.8
30/9/12	26.2	55.1	0.0	22.8	29.7	41.6	68.3	23.9

MASSIMI e MINIMI ASSOLUTI

Temperatura

Min: 16.3 °C il 14/9 alle ore 3.50
 Max: 33.8 °C il 29/9 alle ore 9.40

Umidità

Min: 21.3 % il 29/9 alle ore 10.20
 Max: 87.5 % il 25/9 alle ore 1.00

Pressione

Min: 989.7 hPa il 3/9 alle ore 10.10
 Max: 1017.5 hPa il 21/9 alle ore 9.20

Velocità del vento

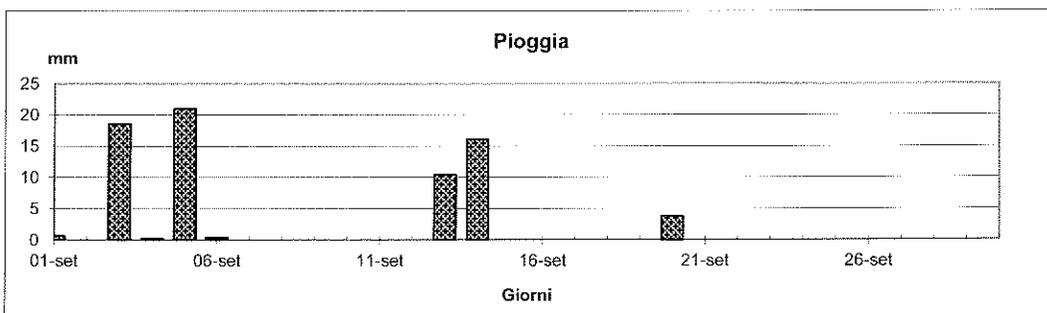
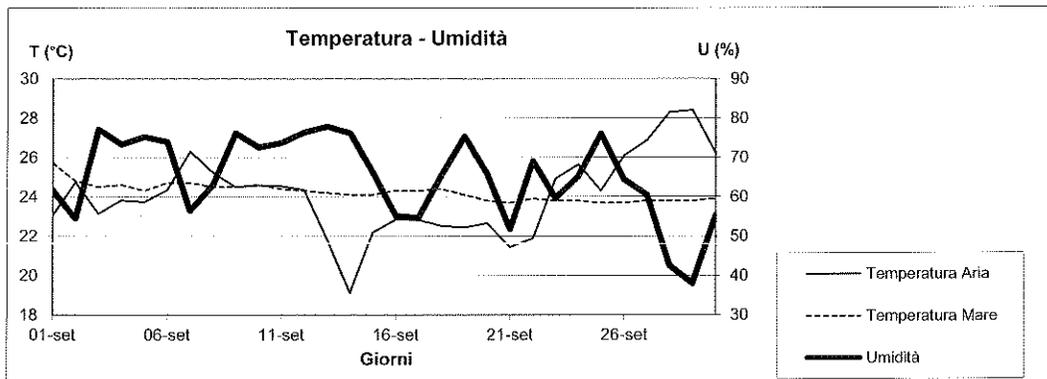
Max: 13.4 m/s il 30/9 alle ore 15.10

Radiazione totale

Max: 1048.1 W/m² il 3/9 alle ore 11.30

Radiazione UVb

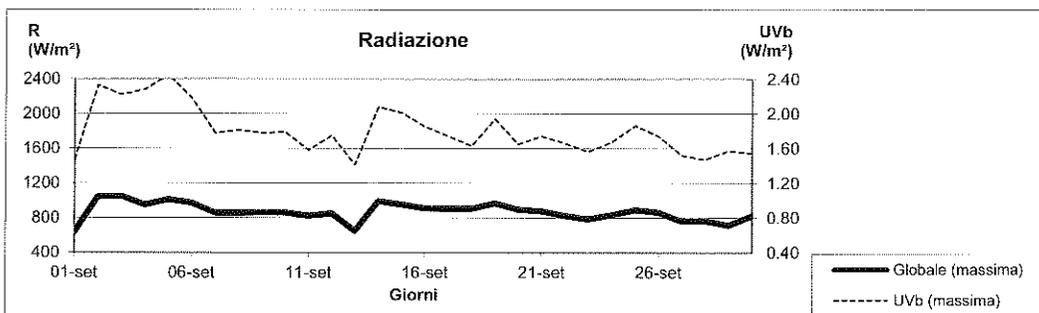
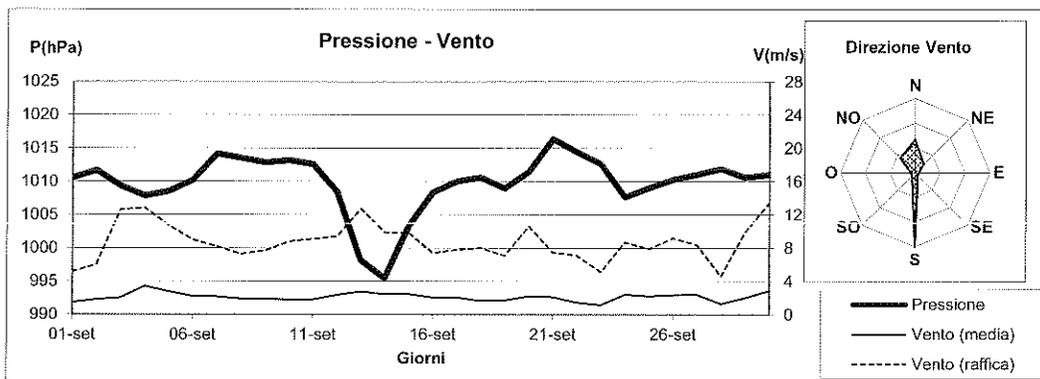
Max: 2.450 W/m² il 5/9 alle ore 12.10



SETTEMBRE 2012

(medie giornaliere)

Data	P(hPa)	DV(°N)	VV(m/s)	R(W/m ²)	UVb(W/m ²)	P _{min} (hPa)	P _{max} (hPa)	VV _{max} (m/s)	R _{max} (W/m ²)	UVb _{max} (W/m ²)
1/9/12	1010.5	315.0	1.4	74.2	0.193	1008.9	1012.7	5.1	633.3	1.470
2/9/12	1011.6	180.0	1.8	282.4	0.516	1009.7	1013.3	6.0	1039.8	2.330
3/9/12	1009.4	180.0	2.0	158.8	0.300	989.7	1013.4	12.6	1048.1	2.220
4/9/12	1007.9	180.0	3.4	188.0	0.372	1007.1	1009.0	12.8	947.3	2.280
5/9/12	1008.5	180.0	2.8	222.3	0.434	1007.1	1009.7	10.7	1011.9	2.450
6/9/12	1010.2	315.0	2.2	175.7	0.357	1007.8	1014.0	9.0	970.1	2.180
7/9/12	1014.2	0.0	2.1	253.4	0.440	1013.3	1015.2	8.2	858.4	1.780
8/9/12	1013.6	180.0	1.9	272.6	0.467	1012.2	1015.2	7.3	854.5	1.810
9/9/12	1012.8	180.0	1.9	266.0	0.447	1012.2	1013.3	7.7	858.8	1.780
10/9/12	1013.1	180.0	1.8	270.2	0.454	1012.7	1013.9	8.8	859.6	1.790
11/9/12	1012.6	315.0	1.8	251.0	0.403	1011.4	1014.0	9.1	822.6	1.580
12/9/12	1008.5	180.0	2.4	245.6	0.421	1004.1	1011.8	9.4	849.3	1.750
13/9/12	998.2	180.0	2.7	68.8	0.164	994.6	1004.0	12.7	646.7	1.410
14/9/12	995.5	45.0	2.5	120.1	0.248	993.2	999.8	9.9	991.4	2.080
15/9/12	1003.3	0.0	2.4	226.1	0.398	999.8	1008.0	9.8	953.6	2.010
16/9/12	1008.3	0.0	2.1	234.9	0.424	1007.8	1009.7	7.4	909.5	1.850
17/9/12	1010.0	0.0	2.0	266.4	0.426	1009.0	1011.6	7.8	904.4	1.740
18/9/12	1010.6	0.0	1.6	246.0	0.383	1009.7	1011.5	8.0	906.0	1.630
19/9/12	1008.9	180.0	1.7	171.8	0.316	1007.9	1010.3	7.1	967.4	1.940
20/9/12	1011.5	45.0	2.2	205.5	0.331	1007.5	1016.4	10.6	893.0	1.650
21/9/12	1016.4	0.0	2.1	266.8	0.428	1009.1	1017.5	7.5	875.3	1.740
22/9/12	1014.4	180.0	1.5	248.5	0.401	1013.6	1015.8	7.1	822.2	1.660
23/9/12	1012.6	180.0	1.2	236.2	0.386	1010.3	1014.6	5.1	784.0	1.560
24/9/12	1007.7	180.0	2.4	201.0	0.353	1005.3	1010.3	8.7	830.9	1.670
25/9/12	1009.0	180.0	2.2	175.7	0.328	1006.6	1010.3	7.9	892.2	1.860
26/9/12	1010.3	180.0	2.4	206.0	0.368	1009.2	1011.5	9.2	859.6	1.740
27/9/12	1011.1	180.0	2.4	205.6	0.347	1009.3	1012.2	8.4	758.8	1.520
28/9/12	1011.9	0.0	1.3	203.9	0.346	1010.9	1012.7	4.6	766.7	1.470
29/9/12	1010.6	180.0	2.0	165.0	0.296	1009.1	1012.1	9.9	713.2	1.570
30/9/12	1011.0	315.0	2.9	122.3	0.226	1008.5	1012.8	13.4	820.6	1.540



OTTOBRE 2012

(medie giornaliere)

Data	T(°C)	U(%)	Pg(mm)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Umin (%)	Umax (%)	Tmare (°C)
1/10/12	25.8	69.4	1.4	23.3	28.7	53.8	83.4	23.8
2/10/12	23.2	73.0	0.8	22.0	25.5	58.3	80.1	23.8
3/10/12	22.4	67.7	0.0	20.7	25.2	50.0	79.8	23.7
4/10/12	21.6	72.2	0.0	19.1	23.7	62.7	77.9	23.6
5/10/12	22.3	72.0	0.0	19.1	26.2	55.9	82.2	23.7
6/10/12	22.1	74.9	0.0	19.6	24.4	62.9	81.3	23.7
7/10/12	21.8	78.5	0.0	19.7	23.0	73.7	84.6	23.7
8/10/12	23.3	71.7	0.0	20.7	27.3	52.4	81.7	23.7
9/10/12	22.3	72.5	1.0	20.1	24.7	64.5	82.3	23.6
10/10/12	22.4	79.2	0.2	20.5	24.4	67.2	86.8	23.6
11/10/12	22.5	77.4	0.0	19.5	24.7	64.5	85.6	23.7
12/10/12	21.8	80.4	43.0	18.2	22.9	72.0	87.3	23.6
13/10/12	20.8	83.9	6.4	18.6	22.5	75.4	89.2	23.6
14/10/12	21.1	80.4	0.0	18.6	23.4	70.3	90.1	23.7
15/10/12	22.1	75.4	1.2	19.9	24.0	67.3	81.9	23.2
16/10/12	20.2	64.9	6.6	18.7	22.3	48.2	86.3	23.4
17/10/12	20.2	65.1	0.0	17.3	23.2	53.4	74.3	23.5
18/10/12	20.6	62.3	0.0	16.7	24.9	37.8	79.4	23.3
19/10/12	21.7	56.7	0.0	18.2	26.7	38.0	73.5	23.1
20/10/12	22.2	64.6	0.0	18.5	27.3	44.1	79.0	23.3
21/10/12	22.0	71.7	0.0	19.0	25.2	49.7	82.1	23.2
22/10/12	21.8	79.5	0.0	18.9	25.2	66.9	83.6	23.1
23/10/12	21.5	76.7	0.0	19.1	24.5	60.6	88.4	23.0
24/10/12	20.8	70.9	0.0	17.9	25.3	60.0	83.0	22.9
25/10/12	20.7	67.0	0.0	17.6	24.2	60.0	78.5	23.0
26/10/12	20.8	75.3	11.2	18.3	22.8	60.0	85.0	23.0
27/10/12	21.1	82.3	25.2	17.6	22.6	71.0	88.9	22.6
28/10/12	17.1	70.2	7.6	14.9	20.7	48.0	83.6	22.7
29/10/12	12.9	73.4	16.4	10.6	16.7	49.8	81.6	22.7
30/10/12	13.9	66.9	0.4	9.5	16.9	45.6	78.9	22.4
31/10/12	17.2	74.3	16.8	14.1	20.4	46.0	90.8	22.2

MASSIMI e MINIMI ASSOLUTI

Temperatura

Min: 9.5 °C il 30/10 alle ore 5.20

Max: 28.7 °C il 1/10 alle ore 13.40

Umidità

Min: 40 % il 24/10 alle ore 14.20

Max: 90.8 % il 31/10 alle ore 18.0

Pressione

Min: 600.1 hPa il 24/10 alle ore 10.30

Max: 1018.2 hPa il 17/10 alle ore 8.40

Velocità del vento

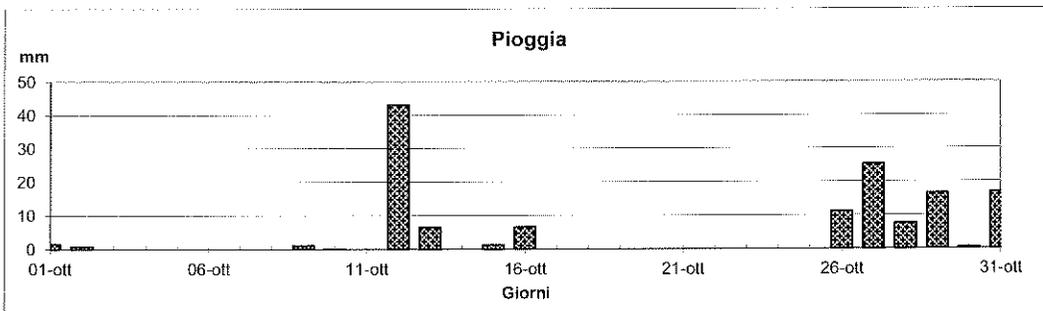
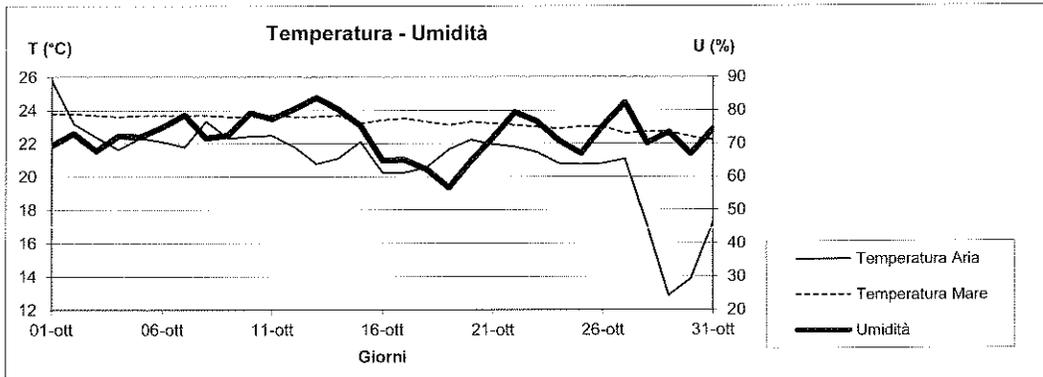
Max: 27 m/s il 31/10 alle ore 21.20

Radiazione totale

Max: 901.7 W/m² il 2/10 alle ore 11.30

Radiazione UVb

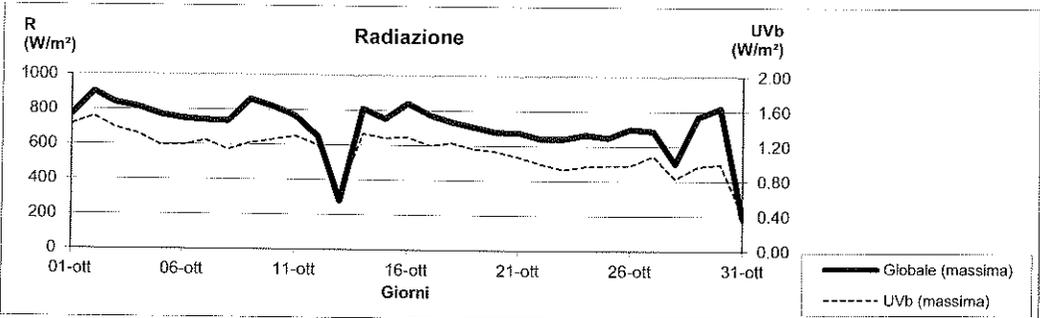
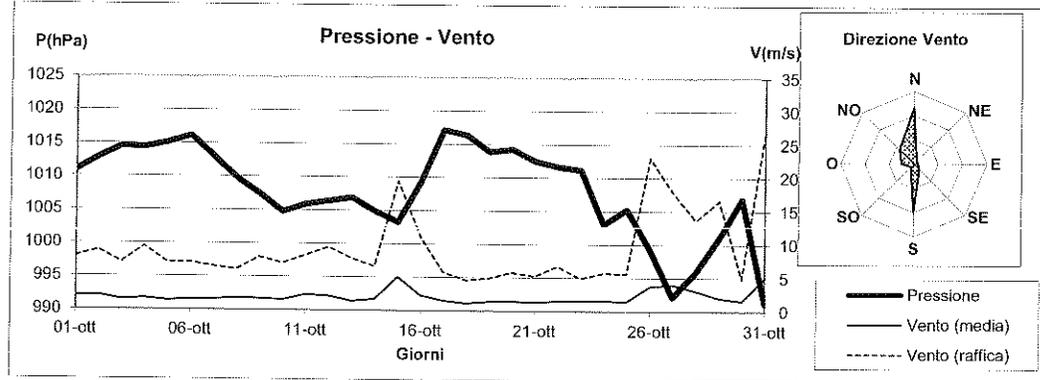
Max: 1.520 W/m² il 2/10 alle ore 11.30



OTTOBRE 2012

(medie giornaliere)

Data	P(hPa)	DV(°N)	VV(m/s)	R(W/m ²)	UVb(W/m ²)	Pmin (hPa)	Pmax (hPa)	VVmax(m/s)	Rmax(W/m ²)	UVbmax(W/m ²)
1/10/12	1011.0	315.0	2.0	137.1	0.215	1009.7	1012.2	8.0	771.8	1.430
2/10/12	1012.9	270.0	2.1	214.0	0.310	1011.5	1015.1	8.9	901.7	1.520
3/10/12	1014.5	315.0	1.5	209.1	0.299	1012.5	1015.8	7.1	839.1	1.390
4/10/12	1014.4	180.0	1.7	221.2	0.305	1013.3	1015.2	9.5	814.3	1.320
5/10/12	1015.1	0.0	1.4	224.0	0.289	1013.9	1016.4	7.1	771.0	1.190
6/10/12	1016.1	180.0	1.5	214.2	0.275	1015.2	1017.0	7.1	749.4	1.190
7/10/12	1013.0	180.0	1.5	141.7	0.214	1010.3	1015.2	6.5	740.3	1.250
8/10/12	1009.8	0.0	1.7	210.1	0.271	1008.4	1010.5	6.1	735.2	1.140
9/10/12	1007.4	0.0	1.7	147.0	0.205	1005.3	1009.7	7.9	859.6	1.220
10/10/12	1004.7	0.0	1.5	192.6	0.269	1004.0	1005.3	7.0	819.0	1.260
11/10/12	1005.9	180.0	2.3	208.4	0.294	1004.9	1007.8	8.2	765.5	1.300
12/10/12	1006.4	180.0	2.1	74.7	0.126	1004.7	1008.4	9.5	647.5	1.200
13/10/12	1006.9	180.0	1.4	51.6	0.113	1004.7	1008.4	7.8	280.0	0.630
14/10/12	1004.9	180.0	1.7	182.8	0.275	1003.6	1005.9	6.6	808.8	1.330
15/10/12	1003.2	180.0	5.0	118.1	0.192	1002.4	1004.3	19.4	752.2	1.280
16/10/12	1009.4	270.0	2.3	195.1	0.269	1002.3	1016.3	11.0	840.3	1.290
17/10/12	1017.1	0.0	1.5	204.9	0.273	1008.7	1018.2	5.8	773.0	1.200
18/10/12	1016.4	0.0	1.1	202.5	0.276	1001.4	1017.6	4.6	736.0	1.230
19/10/12	1013.8	0.0	1.4	196.1	0.272	1001.4	1017.0	4.9	705.7	1.160
20/10/12	1014.3	0.0	1.4	189.5	0.263	1001.4	1015.8	5.8	678.2	1.130
21/10/12	1012.5	0.0	1.3	178.8	0.240	1010.9	1013.9	5.2	673.8	1.070
22/10/12	1011.7	180.0	1.5	171.3	0.226	996.2	1013.3	6.7	642.0	0.990
23/10/12	1011.2	0.0	1.5	172.1	0.216	966.4	1012.7	4.9	640.8	0.930
24/10/12	1003.0	0.0	1.6	161.3	0.193	966.3	1011.5	5.7	665.2	0.970
25/10/12	1005.2	0.0	1.4	175.6	0.219	972.3	1009.7	5.6	648.3	0.980
26/10/12	999.4	180.0	3.7	159.1	0.211	980.9	1008.4	23.0	698.6	0.980
27/10/12	992.2	180.0	4.0	58.4	0.106	988.0	997.2	17.8	686.8	1.090
28/10/12	995.8	315.0	3.1	59.8	0.111	989.5	1000.3	13.6	499.9	0.830
29/10/12	1000.9	315.0	2.0	77.4	0.113	960.7	1006.2	16.6	769.9	0.970
30/10/12	1006.8	0.0	1.5	139.8	0.166	990.6	1008.5	4.9	820.6	0.990
31/10/12	991.2	135.0	5.0	18.9	0.042	988.1	1005.8	27.0	188.3	0.410



NOVEMBRE 2012

(medie giornaliere)

Data	T(°C)	U(%)	Pg(mm)	T _{min} (°C)	T _{max} (°C)	U _{min} (%)	U _{max} (%)	T _{mare} (°C)
1/11/12	19.5	72.8	2.0	18.0	20.4	61.3	87.4	21.3
2/11/12	19.2	73.0	0.0	17.0	21.5	56.5	80.7	21.5
3/11/12	18.8	70.8	0.2	16.9	21.2	50.2	83.6	21.5
4/11/12	20.0	79.2	1.6	17.6	21.6	70.5	86.9	21.2
5/11/12	21.3	81.0	1.2	18.5	23.1	67.9	87.1	20.8
6/11/12	18.4	67.3	0.0	16.9	19.9	61.9	76.0	21.1
7/11/12	15.9	71.9	10.2	13.6	18.4	56.9	84.1	21.0
8/11/12	15.4	59.1	0.0	12.3	19.2	46.7	74.8	20.8
9/11/12	15.9	72.2	0.0	13.5	18.5	54.4	81.3	20.6
10/11/12	16.7	72.1	0.0	13.4	20.1	59.2	79.0	20.7
11/11/12	20.2	69.1	0.0	15.8	23.0	61.2	76.1	20.5
12/11/12	21.3	73.1	0.0	19.2	24.3	62.1	81.3	20.4
13/11/12	20.2	71.4	0.0	17.9	23.3	60.0	81.3	20.5
14/11/12	19.3	62.5	0.0	16.8	23.4	47.9	71.4	20.5
15/11/12	17.2	61.0	0.0	14.9	20.0	53.1	66.5	20.3
16/11/12	15.6	68.0	0.0	14.4	18.4	56.0	76.2	19.9
17/11/12	16.9	73.1	1.0	14.7	20.0	61.4	78.8	20.2
18/11/12	17.7	80.6	37.0	15.9	20.4	66.5	89.3	20.0
19/11/12	16.7	86.0	16.4	15.6	18.8	79.7	90.2	20.1
20/11/12	16.0	81.5	3.6	15.1	17.2	75.8	85.2	20.1
21/11/12	17.0	74.7	0.0	14.9	20.5	61.4	81.6	20.1
22/11/12	17.3	76.7	0.0	14.5	20.2	62.4	82.6	20.1
23/11/12	16.8	81.3	0.0	14.8	19.6	70.0	86.1	20.1
24/11/12	16.1	79.8	0.0	13.7	19.2	69.7	85.7	19.9
25/11/12	15.9	81.9	0.0	13.7	18.9	73.9	88.1	19.7
26/11/12	15.6	78.2	0.0	12.3	18.3	65.2	86.4	19.8
27/11/12	17.5	73.3	0.0	13.9	19.8	59.3	81.8	19.7
28/11/12	18.7	72.6	12.0	13.5	21.5	53.8	85.7	19.2
29/11/12	15.4	69.5	15.4	12.2	17.0	60.8	80.2	18.2
30/11/12	12.3	78.0	21.8	9.9	14.7	63.0	85.5	18.7

MASSIMI e MINIMI ASSOLUTI

Temperatura

Min: 9.9 °C il 30/11 alle ore 22.20
 Max: 24.3 °C il 12/11 alle ore 13.50

Umidità

Min: 46.7 % il 8/11 alle ore 14.20
 Max: 90.2 % il 19/11 alle ore 9.0

Pressione

Min: 988.2 hPa il 28/11 alle ore 14.10
 Max: 1021.3 hPa il 8/11 alle ore 0.10

Velocità del vento

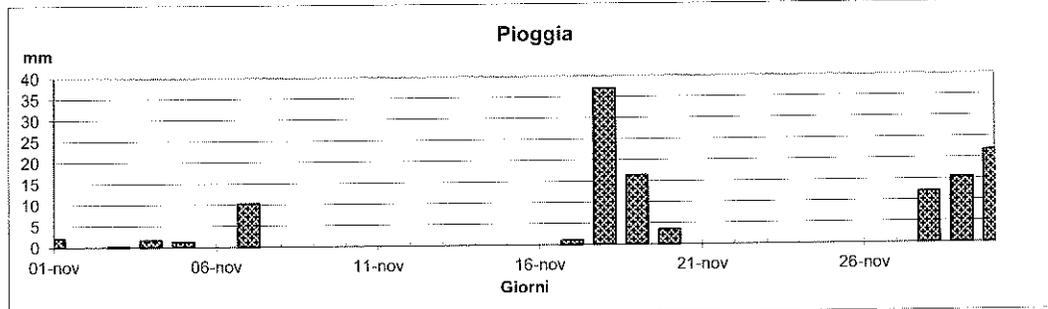
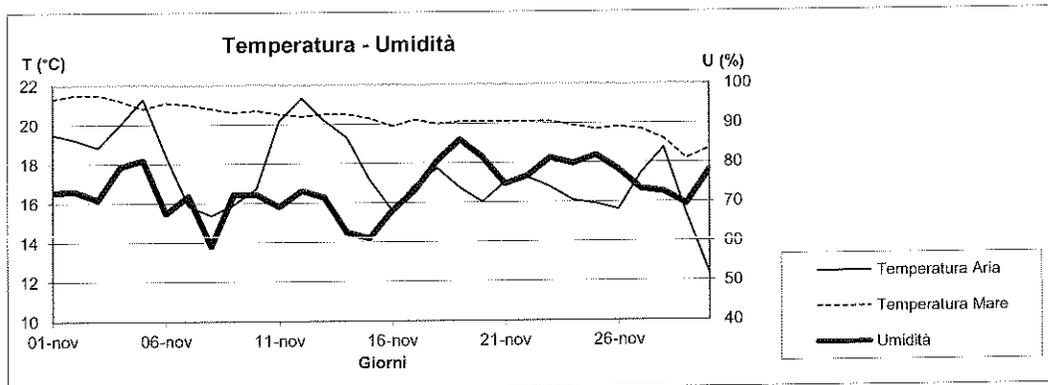
Max: 30.1 m/s il 28/11 alle ore 9.50

Radiazione totale

Max: 815.1 W/m² il 2/11 alle ore 12.20

Radiazione UVb

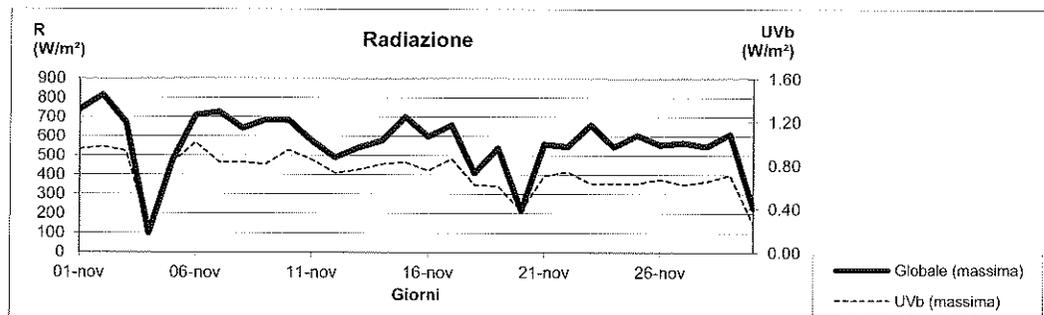
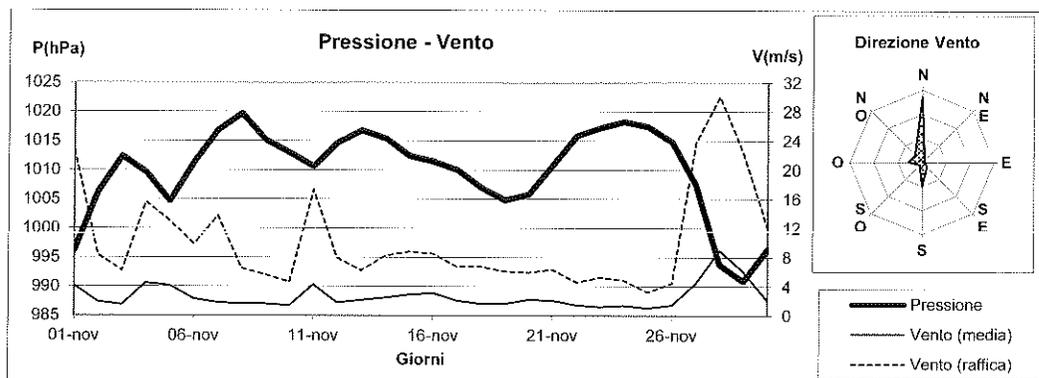
Max: 1.010 W/m² il 6/11 alle ore 12.20



NOVEMBRE 2012

(medie giornaliere)

Data	P(hPa)	DV(°N)	VV(m/s)	R(W/m ²)	UVb(W/m ²)	P _{min} (hPa)	P _{max} (hPa)	VV _{max} (m/s)	R _{max} (W/m ²)	UVb _{max} (W/m ²)
1/11/12	996.2	270.0	4.1	132.9	0.159	991.1	1002.2	22.7	740.0	0.950
2/11/12	1006.3	315.0	1.9	123.6	0.160	1002.1	1011.4	8.3	815.1	0.970
3/11/12	1012.4	180.0	1.5	154.2	0.184	1011.2	1013.4	6.2	670.3	0.930
4/11/12	1009.6	180.0	4.5	15.3	0.028	1006.5	1012.6	15.6	99.0	0.200
5/11/12	1004.6	180.0	4.1	53.1	0.097	1002.5	1008.8	13.0	475.1	0.830
6/11/12	1011.3	270.0	2.3	97.6	0.151	1008.7	1014.1	9.8	708.5	1.010
7/11/12	1016.9	0.0	1.8	95.2	0.126	1013.9	1021.2	13.7	725.8	0.830
8/11/12	1019.7	0.0	1.6	185.5	0.179	1017.6	1021.3	6.5	642.8	0.830
9/11/12	1015.1	0.0	1.6	148.2	0.167	1013.9	1017.6	5.6	686.0	0.810
10/11/12	1012.9	0.0	1.4	133.8	0.164	1011.5	1014.5	4.6	682.9	0.940
11/11/12	1010.6	180.0	4.2	138.8	0.175	1009.0	1012.7	17.3	576.3	0.850
12/11/12	1014.6	315.0	1.8	91.6	0.128	1012.7	1017.0	7.9	490.9	0.730
13/11/12	1016.8	0.0	2.1	129.0	0.157	1015.8	1017.9	6.2	541.2	0.760
14/11/12	1015.4	0.0	2.4	132.6	0.162	1013.7	1017.0	8.2	577.8	0.810
15/11/12	1012.4	0.0	2.9	100.8	0.135	1010.9	1014.6	8.8	700.2	0.830
16/11/12	1011.5	0.0	3.1	80.9	0.103	1010.7	1012.2	8.5	599.1	0.750
17/11/12	1010.0	0.0	2.1	94.0	0.129	1009.0	1011.5	6.7	659.3	0.860
18/11/12	1006.9	0.0	1.6	54.1	0.086	1005.3	1009.1	6.7	409.0	0.620
19/11/12	1004.8	0.0	1.6	50.4	0.078	1004.0	1007.8	6.1	540.5	0.610
20/11/12	1005.8	0.0	2.2	34.7	0.064	1003.4	1009.0	5.9	216.6	0.380
21/11/12	1010.8	0.0	2.1	87.1	0.118	1008.4	1013.9	6.3	558.9	0.700
22/11/12	1015.8	0.0	1.4	127.7	0.146	1013.9	1016.9	4.6	545.6	0.740
23/11/12	1017.2	0.0	1.2	80.2	0.084	1016.3	1018.7	5.2	659.7	0.630
24/11/12	1018.3	0.0	1.4	118.3	0.123	1017.5	1019.3	4.8	544.0	0.630
25/11/12	1017.4	0.0	1.0	100.2	0.110	1016.3	1018.7	3.2	605.4	0.630
26/11/12	1014.8	0.0	1.5	124.5	0.132	1012.7	1016.9	4.4	554.2	0.670
27/11/12	1007.4	135.0	4.4	52.2	0.071	1002.1	1012.6	23.8	565.2	0.620
28/11/12	993.8	180.0	9.0	72.3	0.084	988.2	1002.0	30.1	546.8	0.650
29/11/12	990.9	180.0	6.0	89.8	0.102	989.4	993.4	22.3	612.1	0.710
30/11/12	996.4	270.0	2.0	16.0	0.026	991.9	1001.6	12.0	230.0	0.260



DICEMBRE 2012

(medie giornaliere)

Data	T(°C)	U(%)	Pg(mm)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Umin (%)	Umax (%)	Tmare (°C)
1/12/12	11.7	82.9	17.4	9.8	14.0	78.7	86.7	18.8
2/12/12	11.8	83.2	23.4	9.9	14.9	71.4	87.7	18.6
3/12/12	10.6	64.8	7.6	8.3	12.8	45.6	85.1	18.8
4/12/12	11.9	72.6	14.8	7.2	16.2	54.4	83.2	18.8
5/12/12	11.3	67.9	6.4	7.3	14.8	42.8	79.2	18.9
6/12/12	8.9	67.6	0.0	6.5	12.0	42.6	80.4	18.7
7/12/12	9.8	66.5	3.6	5.4	14.4	46.5	81.8	18.1
8/12/12	11.1	73.7	29.4	7.6	14.4	57.4	83.7	17.8
9/12/12	7.5	52.5	0.0	6.1	10.0	39.7	70.3	18.1
10/12/12	8.9	63.8	5.6	4.6	13.1	43.5	81.1	17.8
11/12/12	10.0	62.3	0.2	7.5	12.8	38.9	77.8	17.8
12/12/12	8.2	54.7	0.0	6.1	11.9	38.0	63.9	17.6
13/12/12	8.5	56.2	0.0	5.3	11.7	47.3	66.0	17.5
14/12/12	13.3	77.4	21.4	9.9	16.4	55.0	86.9	17.4
15/12/12	16.3	83.4	0.6	15.7	16.9	77.5	87.1	16.6
16/12/12	16.3	84.5	2.0	13.7	18.0	76.3	89.4	16.8
17/12/12	14.2	83.9	4.6	11.6	16.5	75.6	89.3	17.0
18/12/12	11.7	77.5	0.0	9.1	15.0	59.8	86.4	17.1
19/12/12	11.4	54.1	0.0	8.2	15.1	36.9	70.6	17.2
20/12/12	10.8	55.8	0.0	8.1	14.3	41.3	66.5	17.2
21/12/12	10.5	75.1	2.4	9.0	12.7	59.9	82.3	17.0
22/12/12	10.9	68.6	0.0	8.7	13.9	58.9	77.0	17.0
23/12/12	12.0	68.2	0.0	8.5	15.2	50.0	79.2	16.8
24/12/12	14.2	82.9	0.0	12.6	15.5	79.3	85.4	16.7
25/12/12	14.4	78.5	0.0	12.4	16.1	72.4	83.4	16.8
26/12/12	15.2	79.8	0.4	11.6	18.0	69.9	85.7	16.8
27/12/12	15.4	82.9	0.0	13.8	18.0	74.7	89.5	16.7
28/12/12	14.5	72.4	3.6	11.8	17.3	44.5	87.4	16.8
29/12/12	12.4	51.5	0.0	9.9	14.8	41.1	61.9	16.9
30/12/12	11.4	63.6	0.0	8.9	15.7	43.1	76.3	16.8
31/12/12	11.5	56.7	0.0	8.0	16.2	26.8	76.5	16.7

MASSIMI e MINIMI ASSOLUTI

Temperatura

Min: 4.6 °C il 10/12 alle ore 5.30
 Max: 18.0 °C il 16/12 alle ore 12.00

Umidità

Min: 26.8 % il 31/12 alle ore 15.30
 Max: 89.5 % il 27/12 alle ore 9.30

Pressione

Min: 993.8 hPa il 8/12 alle ore 4.10
 Max: 1020.0 hPa il 24/12 alle ore 10.40

Velocità del vento

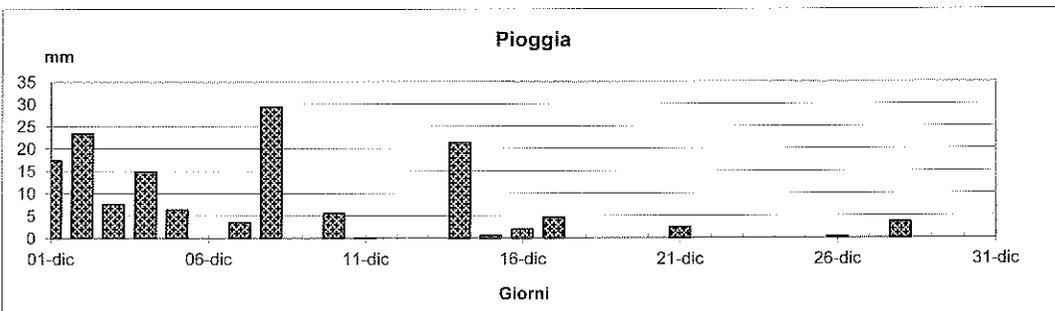
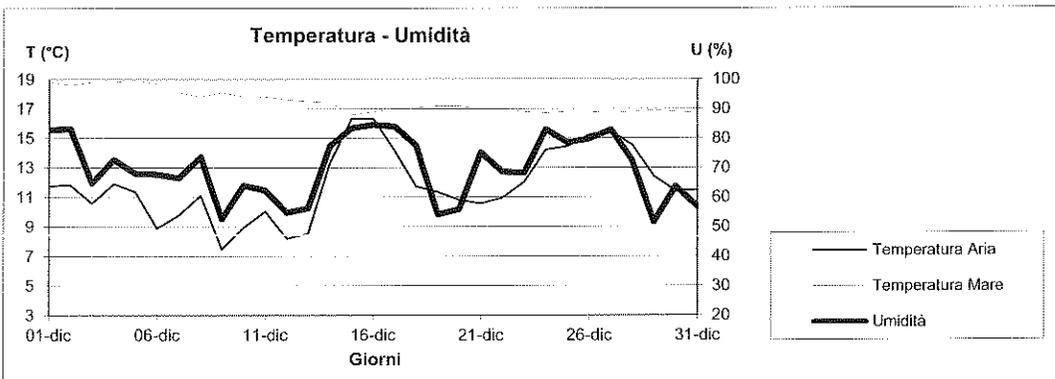
Max: 21.8 m/s il 07/12 alle ore 11.50

Radiazione totale

Max: 655.0 W/m² il 9/12 alle ore 12.00

Radiazione UVb

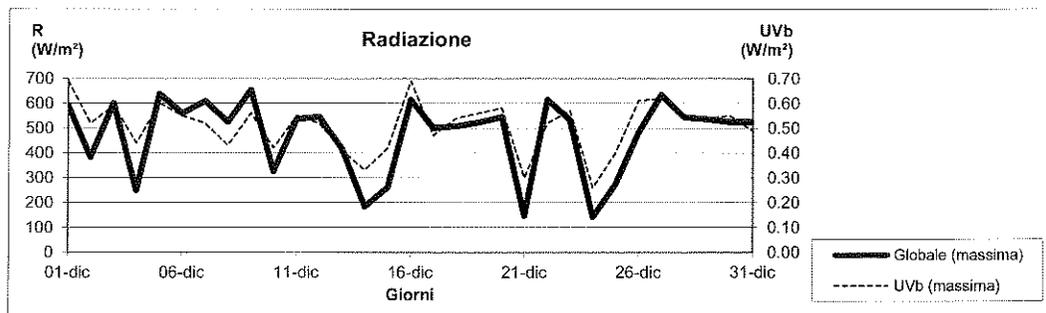
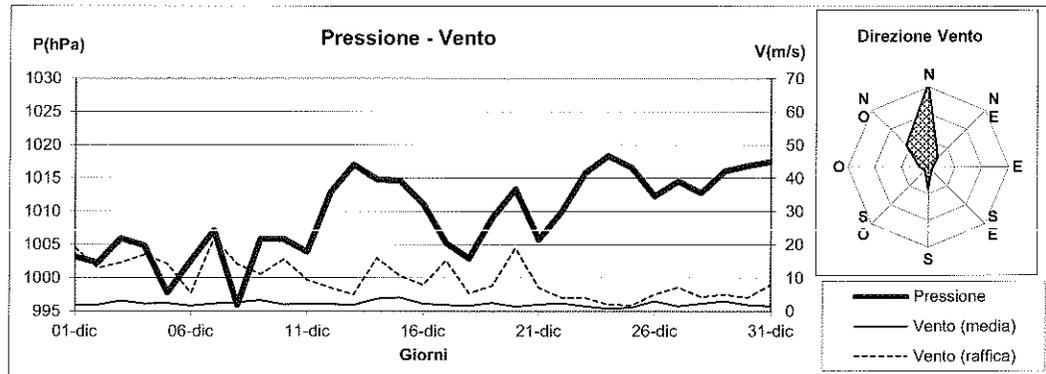
Max: 0.690 W/m² il 1/12 alle ore 11.30



DICEMBRE 2012

(medie giornaliere)

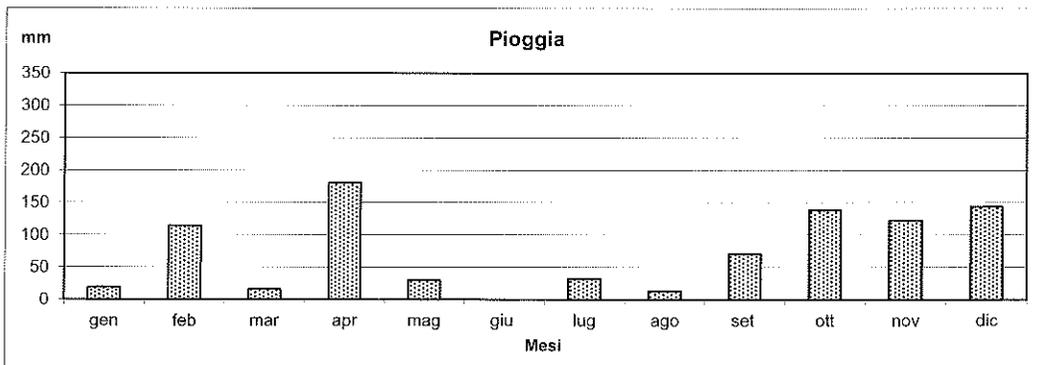
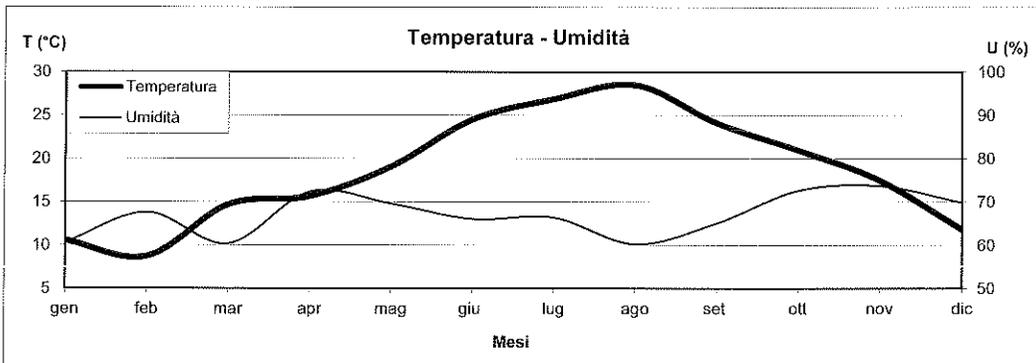
Data	P(hPa)	DV(°N)	VV(m/s)	R(W/m ²)	UVb(W/m ²)	P _{min} (hPa)	P _{max} (hPa)	VV _{max} (m/s)	R _{max} (W/m ²)	UVb _{max} (W/m ²)
1/12/12	1003.1	0.0	1.8	51.0	0.067	1001.0	1005.3	19.1	591.6	0.690
2/12/12	1002.3	0.0	1.8	45.6	0.060	1000.4	1005.3	12.9	382.7	0.520
3/12/12	1005.9	315.0	3.2	114.4	0.108	998.8	1013.2	14.5	600.3	0.590
4/12/12	1004.9	0.0	2.3	27.5	0.050	996.6	1012.7	17.0	249.3	0.440
5/12/12	997.7	315.0	2.3	83.2	0.084	996.0	999.7	14.2	638.0	0.600
6/12/12	1002.6	0.0	1.6	100.6	0.089	999.7	1007.6	5.4	559.7	0.550
7/12/12	1007.1	0.0	2.2	92.6	0.081	1001.1	1010.3	21.8	608.9	0.520
8/12/12	995.9	315.0	2.7	51.7	0.054	993.8	1000.4	14.0	525.1	0.430
9/12/12	1005.8	45.0	3.3	120.4	0.096	998.5	1011.5	11.1	655.0	0.560
10/12/12	1005.8	315.0	2.0	29.5	0.046	996.7	1011.5	15.6	324.8	0.420
11/12/12	1003.9	0.0	2.1	129.4	0.111	996.7	1009.0	9.4	536.1	0.550
12/12/12	1012.9	0.0	2.2	131.2	0.103	1009.0	1016.9	7.0	545.2	0.520
13/12/12	1017.0	0.0	1.9	77.9	0.078	1016.3	1018.2	5.0	414.9	0.410
14/12/12	1014.8	180.0	3.7	19.5	0.031	1013.2	1016.3	15.9	184.0	0.330
15/12/12	1014.7	180.0	4.1	35.0	0.055	1013.2	1016.2	10.6	261.1	0.420
16/12/12	1011.1	180.0	2.2	68.9	0.093	1008.4	1013.3	7.9	614.0	0.690
17/12/12	1005.3	0.0	1.9	47.7	0.063	1001.3	1008.4	15.2	501.5	0.470
18/12/12	1002.9	315.0	1.6	116.2	0.106	1001.6	1005.2	5.4	508.6	0.540
19/12/12	1009.1	0.0	2.4	123.8	0.110	1004.6	1013.9	7.7	522.7	0.560
20/12/12	1013.3	0.0	1.4	107.5	0.109	1011.5	1015.1	18.9	544.8	0.580
21/12/12	1005.7	0.0	2.0	22.1	0.035	1002.7	1011.5	7.0	145.4	0.300
22/12/12	1010.0	0.0	2.4	78.5	0.083	1005.2	1015.1	4.0	614.4	0.520
23/12/12	1015.8	0.0	1.5	99.5	0.101	1014.5	1017.5	4.0	532.6	0.570
24/12/12	1018.4	315.0	0.7	30.7	0.048	1016.9	1020.0	2.0	141.1	0.260
25/12/12	1016.6	0.0	1.2	52.3	0.076	1014.3	1018.8	1.8	272.5	0.400
26/12/12	1012.3	180.0	3.0	102.2	0.119	1010.7	1014.5	5.0	483.0	0.610
27/12/12	1014.5	270.0	1.5	113.0	0.109	1012.1	1015.7	7.1	635.3	0.620
28/12/12	1012.8	0.0	2.2	117.0	0.108	1010.2	1016.3	4.2	544.0	0.550
29/12/12	1016.0	45.0	3.0	128.8	0.110	1015.1	1017.3	5.0	537.3	0.540
30/12/12	1016.9	0.0	1.8	126.8	0.109	1015.8	1018.2	4.0	524.7	0.550
31/12/12	1017.5	0.0	1.5	123.3	0.099	1016.3	1019.4	7.9	524.3	0.490

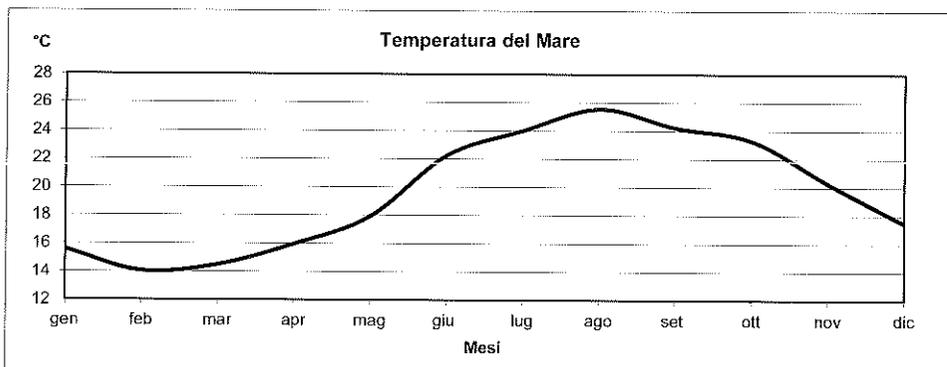
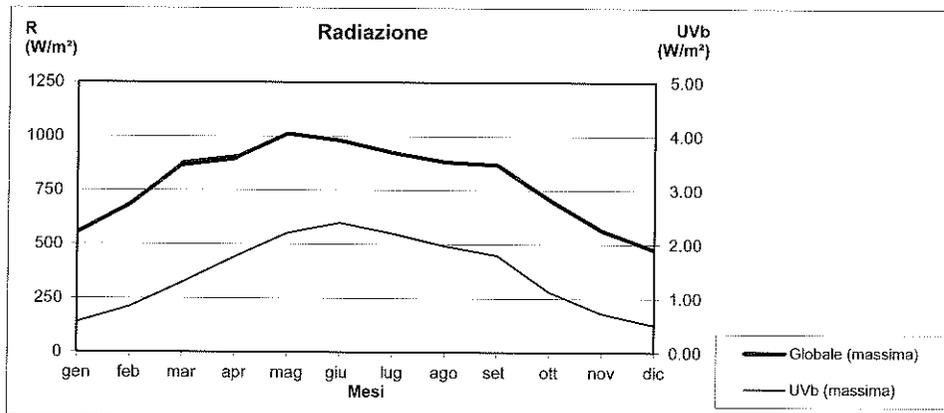
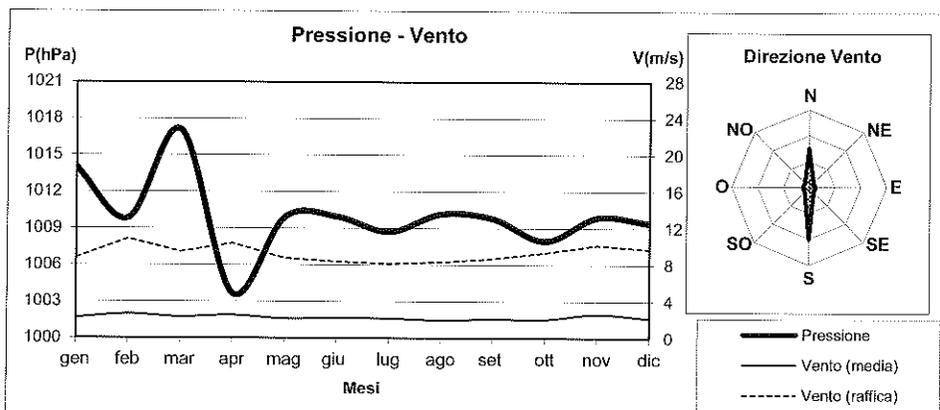


MEDIE MENSILI 2012

Data	T(°C)	U(%)	Pg(mm)	P(hPa)	DV("N)	VV(m/s)	R(W/m²)	UVb(W/m²)	Tmare (°C)
Gennaio	10.6	60.6	19.4	1014.0	0.0	2.2	110.3	0.101	15.6
Febbraio	8.7	67.6	114.0	1009.8	0.0	2.6	128.4	0.150	14.1
Marzo	14.7	60.4	15.8	1017.1	180.0	2.3	219.1	0.282	14.5
Aprile	15.7	72.3	180.4	1003.7	180.0	2.5	216.9	0.360	16.0
Maggio	19.1	69.6	29.8	1009.9	180.0	2.1	298.2	0.530	17.9
Giugno	24.5	66.0	0.6	1010.0	180.0	2.2	335.4	0.650	22.2
Luglio	26.9	66.4	32.2	1008.7	180.0	2.2	310.4	0.595	24.0
Agosto	28.5	60.3	13.0	1010.2	180.0	2.0	295.4	0.524	25.5
Settembre	24.1	65.1	71.0	1009.8	180.0	2.1	207.7	0.366	24.2
Ottobre	21.0	72.6	138.2	1008.0	0.0	2.1	158.3	0.221	23.3
Novembre	17.5	73.7	122.4	1009.9	0.0	2.6	96.5	0.121	20.3
Dicembre	11.8	69.9	143.4	1009.4	0.0	2.2	82.8	0.084	17.5
ANNO	18.6	67.0	880.2	1010.0	180.0	2.3	205.0	0.332	19.6

Data	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Umin (%)	Umax (%)	Pmin (hPa)	Pmax (hPa)	VVmax(m/s)	Rmax(W/m²)	UVbmax(W/m²)
Gennaio	8.0	13.6	46.8	71.8	1010.9	1017.0	8.8	553.6	0.554
Febbraio	6.3	11.7	54.9	78.2	1004.2	1013.2	10.9	683.2	0.841
Marzo	12.3	17.7	46.0	74.3	1015.2	1019.3	9.5	870.7	1.291
Aprile	13.3	18.1	58.0	83.4	1000.0	1006.3	10.3	899.8	1.769
Maggio	16.4	22.2	52.3	81.6	1007.5	1011.6	8.8	1012.6	2.211
Giugno	21.9	28.0	45.3	80.0	1008.1	1011.4	8.4	980.5	2.397
Luglio	24.2	30.4	45.8	79.8	1006.9	1010.1	8.1	925.7	2.204
Agosto	25.6	32.0	42.5	75.7	1008.8	1011.5	8.3	883.0	1.968
Settembre	21.2	27.1	51.2	77.5	1007.3	1011.9	8.7	868.3	1.802
Ottobre	18.3	23.9	57.7	82.9	998.4	1011.0	9.3	707.2	1.125
Novembre	15.0	20.1	61.6	82.0	1007.7	1012.7	10.2	565.9	0.725
Dicembre	9.1	14.8	54.5	80.2	1006.2	1012.7	9.7	474.9	0.510
ANNO	16.0	21.6	51.4	79.0	1006.8	1012.4	9.3	785.5	1.450





Riepilogo mensile delle precipitazioni

Mese	Pioggia Totale mm.	N.° Totale giorni con pioggia	N.° giorni con pioggia fino ad 1 mm	N.° giorni con pioggia da 1.1 a 10 mm	N.° giorni con pioggia da 10.1 a 20 mm	N.° giorni con pioggia da 20.1 a 40 mm	N.° giorni con pioggia da 40.1 a 60 mm	N.° giorni con pioggia maggiore di 60mm
Gennaio	19.4	13	5	6	1	1	0	0
Febbraio	114	7	2	4	0	0	0	0
Marzo	15.8	18	2	8	5	3	0	0
Aprile	180.4	13	3	7	3	0	0	0
Maggio	29.8	8	3	3	1	1	0	0
Giugno	0.6	8	3	4	0	0	1	0
Luglio	32.2	1	0	1	0	0	0	0
Agosto	13	0	0	0	0	0	0	0
Settembre	71	6	1	3	1	1	0	0
Ottobre	138.2	6	3	2	0	1	0	0
Novembre	122.4	14	3	4	5	1	1	0
Dicembre	143.4	17	1	8	5	3	0	0
Totali	880.2	111	26	50	21	11	2	0

Riepilogo mensile delle Tmax**Riepilogo mensile delle Tmin**

Mese	N. giorni con Tmax > 10°C	N. giorni con Tmax > 20°C	N. giorni con Tmax > 30°C	N. giorni con Tmax > 35°C	Mese	N. giorni con Tmin ≤ 15°C	N. giorni con Tmin ≤ 10°C	N. giorni con Tmin ≤ 5°C	N. giorni con Tmin ≤ 0°C
Gennaio	30	0	0	0	Gennaio	31	15	0	0
Febbraio	27	0	0	0	Febbraio	29	17	3	0
Marzo	31	0	0	0	Marzo	31	11	0	0
Aprile	13	9	0	0	Aprile	25	1	0	0
Maggio	31	29	3	0	Maggio	1	0	0	0
Giugno	30	30	9	0	Giugno	1	0	0	0
Luglio	31	31	9	0	Luglio	0	0	0	0
Agosto	22	22	10	0	Agosto	0	0	0	0
Settembre	30	30	3	0	Settembre	4	0	0	0
Ottobre	31	31	0	0	Ottobre	2	0	0	0
Novembre	30	8	0	0	Novembre	22	6	0	0
Dicembre	30	0	0	0	Dicembre	31	20	0	0
Totali	336	190	34	0	Totali	177	70	3	0

ISTRUZIONI PER LA REALIZZAZIONE DEI DATTILOSCRITTI¹

Il *Rendiconto* pubblica le comunicazioni fatte dai soci in una delle adunanze ordinarie dell'Accademia. I soci possono presentare anche lavori di altri autori. In questo caso l'accettazione della *Nota* per la pubblicazione è condizionata al parere favorevole di una commissione designata dall'Accademia.

Le *Note* dovranno essere presentate su supporto cartaceo, in triplice copia, e su supporto magnetico (floppy disk o Cd-Rom) *esclusivamente in formato PDF*. La stesura dovrà essere conforme al modello che è riportato in *Appendice* al volume annuale: non sono ammesse modifiche al modello fornito. La trasformazione dei file nativi in formato PDF dovrà avvenire preferibilmente utilizzando Adobe Acrobat Distiller™, il file finale dovrà incorporare tutte i font utilizzati nel documento originario.

Le dimensioni della pagina sono così fissate: giustezza (lunghezza del rigo) mm 125, altezza della prima pagina (con esclusione della numerazione di pagina) mm 140, altezza delle pagine successive alla prima (con esclusione della numerazione di pagina) mm 190.

Ogni pagina, inclusa la prima, dovrà essere numerata progressivamente. I riferimenti bibliografici possono essere indicati nel testo numericamente, in ordine di citazione, o per autore, mantenendo lo stesso criterio di presentazione nella Sezione Riferimenti bibliografici (*References*). I riferimenti dovranno, in ogni caso, riportare nell'ordine: i nomi degli autori, l'anno di pubblicazione, il titolo completo, il titolo della rivista, il numero e la pagina di inizio e di fine lavoro.

La struttura del dattiloscritto, i caratteri da utilizzare, le loro dimensioni e le spaziature sono indicate negli esempi nelle pagine dell'*Appendice* che seguono.

¹ Una copia di queste istruzioni può essere scaricata all'indirizzo <http://www.liguori.it/areaautori/?c=normespeciali>, richieste di ulteriori informazioni possono essere inoltrate a helpdesk@liguori.it

I disegni di formule e grafici, contenuti in un rettangolo ideale del formato massimo di 125x190 mm comprendente la eventuale didascalia, non possono essere accettati se prodotti a mano libera, essi dovranno essere realizzati ad alto contrasto. Le fotografie, anche di grafici e disegni, devono essere riprodotte e incorporate nella pagina con una risoluzione minima di 300 dpi (punti per pollice). Le fotografie a mezzi toni e quelle a colori, devono rispondere a criteri di riproducibilità ed essere utilizzate solo se necessarie per la completezza dell'esposizione. Le intestazioni delle figure e le relative didascalie non devono confondersi col testo. È consentita la presentazione delle fotografie e dei disegni in formato digitale solo nel caso in cui la scansione sia effettuata ad alta risoluzione (min. 300 dpi), in caso contrario si dovranno fornire gli originali che saranno scansionati a cura dell'editore.

I dattiloscritti non conformi alle norme previste non potranno essere accettati per la pubblicazione.

Saranno forniti gratuitamente 50 estratti, senza copertina, di ciascuna *Nota*, anche nel caso in cui il numero degli autori dovesse essere superiore a uno. Ulteriori estratti e/o la richiesta di una copertina personalizzata saranno a carico degli autori che ne dovranno fare esplicita richiesta all'atto della presentazione del dattiloscritto, per opportuna comunicazione preventiva all'Editore che inoltrerà agli interessati un preventivo di spesa (<http://www.liguori.it/servizi/?c=preprint>).

Abstract - Abstract written in Times New Roman 9, justified; abstract written in Times New Roman 9, justified; abstract written in Times New Roman 9, justified; abstract written in Times New Roman 9, justified;

Al termine lasciare vuoto 1.5 righe

Riassunto - Scritto in Times New Roman 9, giustificato; scritto in Times New Roman 9, giustificato.

Al termine del secondo riassunto si lasciano vuoti 2 righe e si digita a sinistra in **grassetto maiuscolo con caratteri TNR 9** il titolo del primo paragrafo che deve essere Introduzione.

1 - INTRODUCTION

Si lascia 0.5 righe e si inizia la digitazione con caratteri **TNR 11 giustificato** indentando i capoversi di 0.6 cm.

Primo capoverso dell'introduzione in Times New Roman 11 primo capoverso dell'introduzione.

.....

Ultimo capoverso dell'introduzione. Ricordarsi che i capoversi vanno indentati di 0.6 cm.

Dopo questa sezione, e fra la fine di una sezione e l'intestazione dell'altra, si lasciano vuoti due righe. Si usa il **grassetto maiuscolo TNR 9** per tutte le intestazioni che saranno separate dal corpo della rispettiva sezione di 0.5 righe e per il corpo delle sezioni si useranno caratteri **TNR 11**, come per la sezione INTRODUZIONE. L'ultima sezione deve essere sempre RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI (REFERENCES). Se esistono, mettere nell'ordine, le seguenti sezioni: 2 - MATERIALI E METODI (MATERIALS AND METHODS), 3 - RISULTATI (RESULTS), 4 - DISCUSSIONE (DISCUSSION), o CONCLUSIONI (CONCLUSIONS), 5 -RIFERIMENTI

APPENDICE

NORME PER LA STESURA DI UN DATTILOSCRITTO

Prima pagina.

Si lasciano vuoti quattro righi dall'alto.

Titolo: **Grassetto, Times New Roman (TNR) 13 con testo centrato.**

**La Secca delle Formiche di Vivara
(canale d'Ischia, Campania)
Osservazioni Geomorfologico-strutturali e Faunistiche**

A distanza di 1 rigo digitare gli autori della nota con **caratteri TNR 11:**

Nota di Vincenzo Rosso¹, Nicola Verde² e Pasquale Bianco^{1,*}

A distanza di 0.5 rigi digitare il nome del presentatore e la data dell'adunanza con **caratteri TNR 9:**

Presentata dal socio Michele Russo
(Adunanza del 6 febbraio, 1999)

A distanza di 1.5 rigi digitare in lingua inglese le Key words con **caratteri TNR 9** come indicato:

Key words: stratigraphy, island, DNA, proteinase, etc.

A distanza di 0.5 rigi digitare, come indicato, due riassunti con **caratteri TNR 9** di cui uno in italiano e l'altro in inglese:

Esempio di prima pagina

**Analisi sismologiche fatte
nella terra d'Otranto nel decennio 1970-1980**
Nota di Vincenzo Rosso¹, Nicola Verde² e Pasquale Bianco^{1*}

Presentata dal socio Michele Russo
(Adunanza del 6 febbraio, 1999)

Key words: : stratigraphy, Apulia, protein, hemoglobin etc.

Abstract - Abstract written in English language, in Times New Roman 9, justified; abstract written in English language, in Times New Roman 9, justified; abstract written in English language, in Times New Roman 9, justified; abstract written in English language, in Times New Roman 9, justified;

Riassunto - Scritto giustificato in Times New Roman 9, in italiano; scritto giustificato in Times New Roman 9, in italiano; scritto giustificato in Times New Roman 9, in italiano; scritto giustificato in Times New Roman 9, in italiano; scritto giustificato in Times New Roman 9, in italiano; scritto giustificato in Times New Roman 9, in italiano.

1 - INTRODUCTION

Primo capoverso dell'introduzione primo capoverso dell'introduzione, primo capoverso dell'introduzione.

(Al termine della prima pagina, a piè pagina si inserisce)

^{1,2}.. Indirizzi e le varie affiliazioni; tanti quanti necessari per i vari autori

* Author to whom correspondence should be addressed

(qui termina la nota a piè pagina e la pagina 1)

BIBLIOGRAFICI (REFERENCES). I riferimenti, di cui si forniscono esempi per periodici e libri, **vanno scritti in TNR 9 con i titoli in corsivo:**

Hudson, T.H. and Grillo, F.G. (1993) *Reactivation of an inactive human X chromosome*. Science, **230**, 157-163.

Abrahams, R. and Marsden, J. (1978) *Foundation of mechanics*. Benjamin, New York, NY

Eventuali Ringraziamenti (Acknowledgements) per finanziamenti o altro vanno inseriti a piè di pagina al termine di RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI usando **TMS 9**.

Es:

Acknowledgements: i contributi economici, i ringraziamenti per notizie, altro.

Ricordare che come note a piè pagina della prima pagina, dopo una linea di divisione, vanno inseriti in **Times New Roman 9** i richiami e le eventuali annotazioni riguardanti il titolo e gli autori come nell'esempio:

¹ Dipartimento 1, indirizzo 1; Dipartimento 2, indirizzo 2 e così per i vari numeri che nel titolo distinguono gli autori.

* Author to whom correspondence should be addressed (Autore a cui indirizzare la corrispondenza)

