



Maria Grazia Zampolli,
Maria Chiara Pietrogrande,
Francesco Dondi
Dipartimento di Chimica -
Università di Ferrara
chiara.pietrogrande@unife.it

GASCROMATOGRAFIA: UN METODO D'ANALISI ADATTO ALLE MISSIONI SPAZIALI

Gascromatografi e moduli GC-MS sono attualmente installati in missioni spaziali in corso e si stanno studiando ulteriori sviluppi per l'analisi diretta in situ degli ambienti extraterrestri.

Questi sistemi sono utilizzati nella missione Cassini-Huygens dedicata allo studio di Saturno e del suo satellite Titano e nella missione Rosetta, progettata per analizzare le caratteristiche del nucleo e dell'ambiente delle comete. Si stanno progettando nuovi metodi per le future missioni su Marte alla ricerca di molecole biomarker, che indichino se forme di vita sono o sono state possibili su Marte o altri corpi extraterrestri. È necessario scegliere colonne e condizioni operative opportune per ottenere buone separazioni nei vincoli imposti dalle condizioni di volo: basso consumo energetico, separazioni isoterme a bassa temperatura.

È noto che la gascromatografia è una tecnica particolarmente robusta e versatile e pertanto può essere applicata sia ad un'estrema varietà di campioni (ambientali, farmaceutici, industriali) sia a diverse condizioni di utilizzo: in laboratorio, in analisi di processo e come strumento da campo. A conferma di tale versatilità, in questi ultimi anni tecniche gascromatografiche sono state impiegate nella ricerca spaziale che richiede condizioni di operazione eccezionali: strumentazioni GC possono essere imbarcate sulle sonde impiegate in missioni spaziali per esplorare pianeti e satelliti effettuando l'analisi diretta *in situ* degli ambienti extraterrestri (1). Le caratteristiche più interessanti che permettono questo impiego sono: possibilità di automazione, miniaturizzazione, peso ridotto, basso consumo energetico, elevata resistenza meccanica, massima sensibilità, cicli di analisi brevi. La GC occupa un posto di primo piano tra le altre tecniche analitiche qualificate per l'impiego nello spazio, in quanto, a differenza delle altre tecniche, quali quelle spettroscopiche (Raman, Mossbauer, gamma e neutroni, UV, IR), offre il

vantaggio di essere una tecnica separativa e ciò è fondamentale nell'analisi di campioni costituiti da miscele di numerosi componenti e da matrici complesse (suolo, gas, aerosol) di composizione praticamente incognita. Inoltre i GC sono facilmente accoppiabili alla spettrometria di massa MS, un sistema molto potente per identificare la composizione chimica organica ed inorganica dei campioni.

Le caratteristiche dei GC impiegabili nelle missioni spaziali

Le condizioni di volo durante le missioni spaziali impongono limitazioni molto severe, in particolare (1-5):

- l'intera strumentazione, e specificamente la colonna, deve essere resistente al tempo, agli shock meccanici, termici ed alle radiazioni;
- il consumo energetico dell'analisi deve essere ridotto: questa limitazione molto pesante comporta basse temperature di lavoro in condizioni isoterme o programmate lente di temperatura;
- l'intera analisi deve richiedere l'impiego di una quantità ridotta di gas di trasporto;

- questi due ultimi limiti impongono che i cicli analitici devono essere brevi (<20 minuti);

- è necessario che il sistema operativo possieda un'elevata efficienza separativa, anche se le condizioni operative che soddisfano i requisiti imposti dal volo non sono quelli ottimali, in particolare è molto pesante la limitazione delle basse temperature. Le colonne impiegabili nelle missioni spaziali devono essere costruite in acciaio per la loro maggiore resistenza meccanica: nelle prime missioni venivano utilizzate colonne impaccate e successivamente sono state sostituite da quelle capillari, quando è stato possibile costruirle in acciaio (2). Questo ha permesso di aumentare l'efficienza di separazione, la resistenza meccanica e di minimizzare la richiesta di gas di trasporto con conseguente diminuzione di ingombro e di peso da parte dei serbatoi. L'impiego principale degli strumenti GC a bordo delle sonde consiste nel determinare la distribuzione e l'abbondanza dei componenti delle atmosfere e del suolo dei sistemi extraterrestri che circondano il nostro pianeta. In particolare è estremamente interessante ottenere informazioni sugli elementi biogenici e i loro derivati più complessi presenti nel sistema solare: questo è l'oggetto di studio di una recente disciplina, l'esobiologia (4). Il suo obiettivo è la comprensione delle condizioni e dei processi di formazione delle molecole organiche che hanno portato all'origine della vita sulla Terra e quello di stabilire se questi stessi processi abbiano potuto o potranno attuarsi altrove. Pertanto le missioni spaziali sono dedicate all'esplorazione di corpi celesti in cui si suppone sia o sia stata possibile qualche forma di vita.

Le prime applicazioni GC nelle missioni spaziali

Il primo impiego di una strumentazione GC-MS in una missione spaziale fu sulle navicelle americane Viking nel 1976, aventi come obiettivo l'analisi dell'atmosfera e del suolo di Marte al fine di determinare tracce di una vita microbica potenzialmente esistente sul pianeta. Il modulo "Life Detection Instrument Package" comprendeva tre diversi esperimenti per misurare il rilascio di ossigeno molecolare dal suolo dopo esposizione a vapore acqueo, per monitorare CO₂ e CO radioattivi liberati in seguito a trattamento del suolo con una soluzione acquosa di nutrienti isotopicamente marcati, per rilevare tracce di materiale organico in seguito a pirolisi. Mentre alcuni esperimenti sembravano indicare l'esistenza di una potenziale attività metabolica del suolo, la presenza di vita era in contraddizione con i risultati di esperimenti di pirolisi del suolo che non rilevavano tracce di materiale organico a livello dei ppb. Attualmente la spiegazione più accreditata di questi risultati discordanti è che la reattività del suolo marziano sia dovuta alla presenza di ossidanti inorganici (superossidi, perossidi, perossinitrati, ecc.) o alla fotosidazione promossa dalle radiazioni (3, 4). I quesiti irrisolti in merito alla vita su Marte sono oggetto delle missioni attuali e future che analizzeranno la superficie ed il sottosuolo, maggiormente protetto dai danni delle radiazioni UV e presumibilmente libero di ossidanti. Le analisi GC hanno dato informazioni sulla composizione dell'atmosfera di Marte: per la maggior parte è costituita da CO₂ (95,3%) con minori quantità di N₂, Ar, O₂, CO, H₂O, Ne, Kr e altri gas permanenti. I gas atmosferici venivano immessi nel

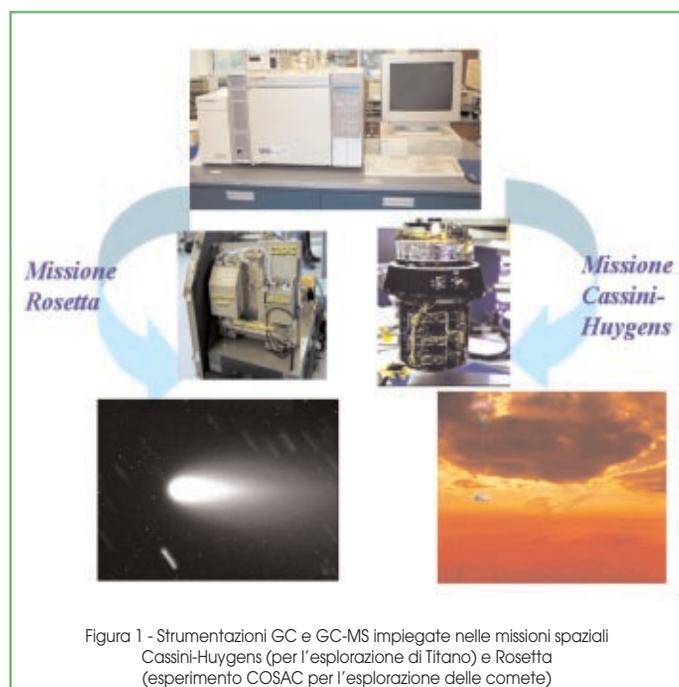


Tabella 1 - Principali specie organiche ed inorganiche rilevate nelle "chiome" delle comete e abbondanze relative % rispetto all'acqua (6-9)

Specie	Abbondanza %	Specie	Abbondanza %
H ₂ O	100	H ₂ CO	0,03-4
CO	0,9-43	CH ₃ OH	0,9-7
CO ₂	2,2-13	CH ₃ CHO	0,025
NH ₃	0,1-1,8	HCOOH	0,05-0,09
N ₂	0,02-0,2	CH ₃ OCHO	0,05-0,08
H ₂ S	0,1-0,6	CH ₄	0,1-0,81
H ₂ CS	0,02	C ₂ H ₆	0,13-0,67
CS ₂	0,1-0,6	C ₂ H ₂	0,1-0,67
S ₂	0,005-0,05	HNC	0,007-0,04
OCS	0,1-0,6	HNCO	0,04-0,13
SO ₂	0,15-0,2	CH ₃ CN ₃	0,01-0,02
SO	0,2-0,8	HC ₃ N	0,02
Ar	<17	NH ₂ CHO	0,01-0,08

CHIMICA & SEPARAZIONI

GC-MS attraverso una serie di tubi disposti sulla superficie superiore del "lander", forzati a passare attraverso un filtro per eliminare le polveri e inviati al GC-MS, mentre i campioni di suolo venivano raccolti da una paletta escavatrice di piccole dimensioni attaccata ad un braccio retrattile (5). Una volta setacciate, le particelle venivano convogliate nel "soil processor" per un'ulteriore frantumazione e campionamento ed inviate per gravità al sistema pirolisi-GC-MS. I detector utilizzati erano uno spettrometro di massa ad impatto elettronico operante in un intervallo di masse da 10 a 220 uma e alcuni rivelatori a termocoducibilità (TCD). Si tratta di sistemi particolarmente adatti a queste applicazioni in quanto rivelatori di tipo universale non distruttivi di semplice utilizzo, facilmente miniaturizzabili: in seguito verranno introdotti i nano-TCD delle dimensioni di un francobollo, utilizzati anche nei gascromatografi da campo per il moni-

toraggio ambientale *in situ*. Essi necessitano del solo gas di trasporto per funzionare in quanto il piccolo volume della cella di analisi autorizza la soppressione di gas ausiliari, ad esempio gas di make-up o comburente/combustibile; questo permette di inserire più rivelatori nella strumentazione di volo in maniera tale da poter lavorare con più colonne in parallelo ed effettuare analisi in maniera simultanea collegando il tutto ad un'unica bombola di carrier.

Il successivo impiego di un sistema GC fu nella missione Pioneer-Venus (NASA) su Venere nel 1978 per l'analisi della composizione dell'atmosfera a diverse quote (1). Si trattava di un modulo miniaturizzato, completo di bombole di carrier, sistema di campionamento e sistema di gestione dei dati del peso inferiore ai 10 kg. I dati ottenuti furono confermati dalle missioni successive Venera 11, 12, 13, 14 e Vega (Urss 1978-1985): si trovò che l'atmosfera è composta da CO₂ (96%), N₂, H₂O, CO, SO₂, H₂S, COS, H₂, Ar, Ne. Le colonne impiegate erano colonne impaccate con fasi stazionarie convenzionali (Porapack, polidivinilbenzene); i rivelatori erano TCD, HID (rivelatore a ionizzazione di elio) ed ECD (rivelatore a cattura di elettroni).

Tabella 2 - Composizione chimica di prodotti ottenuti da esperimenti di simulazione in laboratorio: campioni analoghi a ghiacci cometari da esperimenti di irradiazione UV e bombardamento con protoni*

Idrocarburi CH ₄ , C ₂ H ₂ C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆ C ₃ H ₈ , C ₄ H ₁₀ C ₅ H ₁₀ , C ₅ H ₁₂ C ₆ H ₁₂ , C ₆ H ₁₄ , C ₇ H ₁₆	Acidi carbossilici HCOOH CH ₃ COOH HOCH ₂ COOH HOCH ₂ CH(OH)COOH HOCH ₂ CH ₂ COOH NH ₂ COCOOH
Ammidi NH ₂ CHO CH ₃ CONH ₂ HOCH ₂ CONH ₂ NH ₂ (CO) ₂ NH ₂ HOCH ₂ CH(OH)CONH ₂	Aldeidi H ₂ CO CH ₃ OCH ₂ CHO
Ammine HOCH ₂ CH ₂ NH ₂ , HCNH(NH ₂) Diamminopirrololo Diamminofurano Triamminopropano	Eteri CH ₃ OCH ₂ OCH ₃ C ₃ H ₈ O ₃ (Triossano)
Altri CO, CO ₂ , C ₃ O ₂ , H ₂ O ₂ , H ₂ CO ₃ , N ₂ H ₄ HNCO, NH ₂ CONH ₂ , NH ₂ CONHCONH ₂ , (CH ₂) ₃ N ₂ ; HMT, (-CH ₂ -O-)n; POM	Alcooli CH ₃ OH CH ₃ CH ₂ OH HOCH ₂ CH ₂ OH HOCH ₂ CH(OH)CH ₂ OH C ₂ H ₄ (OH) ₂ , C ₃ H ₇ OH C ₆ H ₁₁ OH
Chetoni CH ₃ COCH ₃ HOCH ₂ COCH ₃ HOCH ₂ CH ₂ COCH ₃ Ciclopentanone Cicloesanone	Aminoacidi NH ₂ CH ₂ COOH (Glicina) NH ₂ CH(CH ₃)COOH (Alanina) CH ₃ CH ₂ CH(NH ₂)COOH (α-ABA) CH ₃ CH(NH ₂)CH ₂ COOH (β-ABA) (CH ₂ NH ₂)(CH ₂)CHCOOH (AIBA) Sarcosina Etilglicina Valina, Prolina, Serina Acido aspartico Acido diamminopropanoico Acido diamminobutirrico Acido diamminopentanoico Acido diamminoesanoico

*Le molecole in corsivo sono quelle confermate da analisi chimica

La missione Cassini-Huygens

Gascromatografi e moduli GC-MS sono attualmente installati in missioni in corso e si stanno studiando ulteriori sviluppi per utilizzarli in quelle future. È il caso della missione Cassini-Huygens dedicata allo studio di Saturno e del suo satellite Titano. Informazioni su questi corpi extraterrestri furono raccolte dalle sonde Voyager nel 1980-81. Da tali dati risulta che Titano, il più grande satellite di Saturno, ha un'atmosfera ricca di N₂ e CH₄, idrocarburi leggeri e nitrili a basso PM. Pertanto il suo studio è estremamente interessante per l'esobiologia in quanto fornisce un esempio di reattore prebiotico dove si può sviluppare una chimica organica complessa che, a partire da molecole semplici, potrebbe portare alla formazione di molecole più grandi riproducendo i potenziali processi avvenuti sulla Terra primordiale. Queste supposizioni sono confortate da simulazioni sperimentali in laboratorio da cui, riproducendo le condizioni ambientali del satellite, in seguito a processi fotochimici sono stati ottenuti oligomeri chiamati "toline" (6), che potrebbero con buona approssimazione costituire gli analoghi degli aerosol presenti nell'atmosfera di Titano.

La missione, nata da un progetto congiunto tra Esa e Nasa è iniziata nel 1997: il satellite Cassini (*orbiter*) ha raggiunto Saturno nel luglio di quest'anno e la sonda Huygens (*lander*) verrà paracadutata sulla superficie di Titano nel gennaio 2005. Durante la discesa, che durerà 2,5 ore, il modulo GC-MS su essa installato avrà il compito di misurare la composizione dell'atmosfera a diverse quote fino alla superficie. Esso è accoppiato ad un secondo strumento, un sistema di campionamento e pirolisi di

aerosol (ACP aerosol collector and pyrolyser) che opera a diverse temperature, fino a 600 °C. L'insieme GC-MS (riportato in Figura 1) è assemblato in forma compatta con dimensioni (diametro: 198 mm) e peso complessivi (17,3 kg) ridotti. Ha una struttura modulare: il sistema MS (un quadrupolo operante in un intervallo di masse 2 e 150 uma) può essere accoppiato al sistema GC o condurre analisi indipendenti attraverso iniezione diretta del campione. Sono installate tre diverse colonne cromatografiche per permettere un'analisi accurata di tutti i composti supposti presenti nei campioni prelevati: una colonna microimpaccata con un setaccio molecolare per separare i gas permanenti (quali CO, N₂, CH₄), una colonna capillare WCOT (Wall Coated Open Tubular) di carbonio vetroso per separare le specie organiche contenenti fino a tre atomi di carbonio e una colonna capillare WCOT per idrocarburi contenenti fino a otto atomi di carbonio e nitrili fino a quattro atomi di carbonio. Tutte le colonne sono costruite in acciaio inossidabile che conferisce loro resistenza meccanica, un elevato grado di inerzia e minimizza i fenomeni di spurgo.

La missione Rosetta

Un'altra missione che prevede l'impiego di un sistema GC-MS è Rosetta, progettata dall'Agenzia Spaziale Europea (Esa) per incontrare una cometa ed analizzare le caratteristiche del nucleo e dell'ambiente circostante con i 21 strumenti collocati sul satellite (*orbiter*) e su una sonda che scenderà sulla superficie del nucleo (*lander*). La missione Rosetta era stata originariamente progettata per incontrare nell'anno 2011 la cometa 46P/Wirtanen ma a causa di problemi al lanciatore Ariane 5, il lancio è stato rinviato al febbraio 2004 ed è stato necessario scegliere una nuova cometa di destinazione, la Churyumov-Gerasimenko, che sarà raggiunta nel 2014. Le comete sono i più antichi corpi celesti, composti di ghiaccio e polveri che passano la maggior parte della loro esistenza ai confini del sistema solare, a basse temperature e raggiunte da deboli radiazioni, e questo ha permesso molto probabilmente alla loro composizione di

rimanere pressoché inalterata sin dai tempi della loro nascita. Esse diventano visibili solo quando, subendo una perturbazione gravitazionale da parte dei pianeti giganti o di una stella, precipitano all'interno del sistema solare e si avvicinano al sole dando luogo alla formazione di una "chioma" dovuta alla sublimazione dei ghiacci e delle polveri. Pertanto la conoscenza della composizione delle comete potrebbe essere di grande aiuto per ricostruire la storia dell'evoluzione del sistema solare.

A bordo del lander di Rosetta, vi è un sistema pirolisi-GC-MS (Figura 1) avente una massa totale di 4,38 kg, con il compito di analizzare i composti ottenuti dalla volatilizzazione termica del materiale cometario: l'esperimento COSAC (COmetary SAMpling and Composition) (7-14).

Il pirolizzatore è in grado di decomporre termicamente i campioni prelevati (superficie, suolo della cometa) riscaldandoli fino alla temperatura di 800 °C. I gas ottenuti saranno successivamente analizzati nel sistema GC.

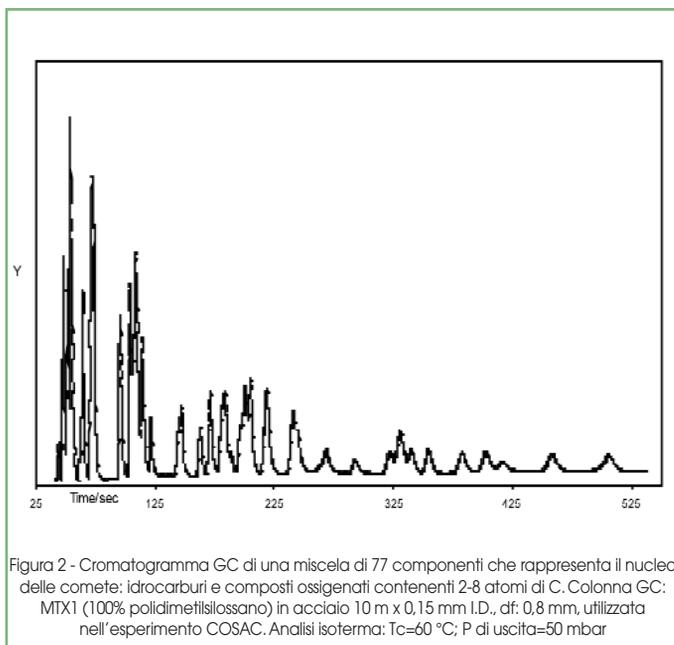
Ogni colonna è collegata ad un rivelatore nano-TCD e ad uno spettrometro di massa con sorgente ionica ad impatto elettronico e analizzatore a tempo di volo (TOF, time of flight), operante in un intervallo di masse da 12 a 1.500 uma. Il sistema GC contiene otto colonne capillari montate in parallelo per analizzare in modo opportuno le diverse classi di composti presenti nei campioni: cinque per separare composti a diversa polarità e tre per una separazione chirale.

Attualmente sono disponibili alcune informazioni sulla possibile composizione dell'atmosfera che circonda le comete, la "chioma" (Tabella 1): esse sono state ricavate da misure dirette della "chioma" della cometa (in particolare la cometa di Halley e quella di Hale Bopp) effettuate dagli strumenti (UV, IR, MS, radio) a bordo delle sonde (8) e da esperimenti di simulazione compiuti in laboratorio (9, 10). Essi, mediante la produzione e lo studio di miscele che simulano quelle extraterrestri, hanno dimostrato che sulle comete è possibile l'esistenza di diverse molecole organiche di tipo prebiotico, cioè i precursori chimici che hanno permesso la sintesi delle molecole della vita. Come

Tabella 3 - Colonne selezionate per lo strumento GC-MS utilizzato nell'esperimento COSAC

Colonne	Fase stazionaria	Molecole target
Carbobond PLOT	setacci molecolari, carbonati	gas nobili, e idrocarburi leggeri (C1-C2)
MXT U PLOT	stirene/divinilbenzene/etilene	composti organici (C1-C2), NH ₃
MXT 1701	polidimetil (86%)/cianopropil fenil (14%) silossano	idrocarburi e composti ossigenati (C2-C8), nitrili
MXT 20	polidimetil (80%)/difenil (20%) silossano	idrocarburi e composti ossigenati (C2-C8), nitrili
MXT 1	100% polidimetilsilossano	composti organici più pesanti-aromatici
2 Chirasil Dex	ciclodestrine diversamente funzionalizzate chimicamente legate a polisilossano	molecole chirali a basso PM
Chirasil Val	N-propanoil-valina-ter-butil-ammide chimicamente legata a polisilossano	molecole chirali a basso PM

CHIMICA & SEPARAZIONI



esempio in Tabella 2 sono riportati i composti ottenuti da esperimenti di simulazione di ghiacci cometari (per irradiazione UV e bombardamento con protoni).

Sulla base di queste informazioni è stato possibile selezionare per l'esperimento COSAC le colonne cromatografiche più opportune per separare le diverse classi di composti (Tabella 3). Esse sono state scelte sulla base di studi condotti in laboratorio per verificare quali sono le fasi stazionarie che mostrano una elevata selettività ed efficienza nelle condizioni di analisi imposte dalla missione: condizioni isoterme a basse temperature (30-90 °C) per garantire il massimo risparmio energetico (11). In Figura 2 è riportato un esempio di una separazione effettuata in laboratorio in condizioni che simulano quelle presenti durante l'esperimento COSAC: la colonna MTX1 è una di quelle selezionate, l'analisi è stata condotta in condizioni isoterme a 60 °C con una pressione ridotta (50 mbar) in uscita. Il campione analizzato è una miscela che simula la composizione del nucleo delle comete: idrocarburi e composti ossigenati contenenti 2-8 atomi di C. Si può notare come il sistema sia in grado di separare in modo soddisfacente i 77 composti presenti nella

miscela, sebbene le condizioni sperimentali imposte dalle condizioni di volo durante la missione spaziale siano lontane dalle condizioni ottimali.

Questi studi in laboratorio hanno un duplice scopo:

- scegliere i sistemi cromatografici che permettono una migliore separazione, nei limiti delle condizioni operative permesse dalla missione,
- ottenere dei cromatogrammi di riferimento che permetteranno di interpretare i cromatogrammi effettivamente realizzati nelle analisi in situ durante le missioni (11-14).

L'esplorazione di Marte

L'esplorazione di Marte sta dominando e dominerà in futuro la scena internazionale nelle missioni spaziali. Infatti già in questi mesi sono attive più missioni con questo obiettivo: Mars Express, la missione Esa, Spirit e Opportunity, i lander della Nasa, aventi lo scopo di determinare se su Marte ci siano state le condizioni per l'insorgere della vita e di verificare quali siano i rischi dell'ambiente marziano per una esplorazione umana. Un passo obbligato di questa strategia è quello di riportare campioni di suoli e rocce marziane a Terra. Sia nell'analisi *in situ* che in laboratorio dei campioni prelevati la GC rivestirà un ruolo principale: numerose ricerche sono in atto per selezionare i sistemi e le condizioni cromatografiche più adatte.

Oltre alle molecole prebiotiche le future missioni spaziali saranno interessate alla ricerca delle molecole che rivestono un ruolo fondamentale nei sistemi biologici, quali amminoacidi, purine, pirimidine, acidi carbossilici ed altre, e che quindi rappresentano dei biomarkers, cioè indicano quali forme di vita sono o sono state possibili su Marte o altri corpi extraterrestri. Il ritrovamento di queste molecole, ad esempio di amminoacidi, in ambienti non terrestri, potrebbe essere di fondamentale importanza per comprendere se esse si sono originate sulla Terra o sono state portate su di essa da altri corpi quali meteoriti o asteroidi e in seguito, solo le condizioni climatiche del nostro pianeta abbiano permesso lo sviluppo della vita.

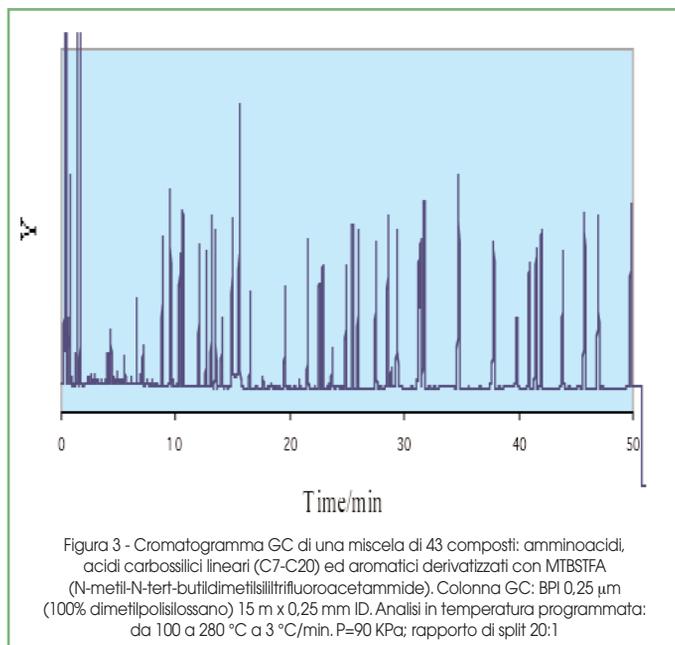
I composti da analizzare sono molecole organiche polari contenenti atomi di idrogeno attivi (ad esempio gruppi idrossilici, amminici, tiolici, carbossilici), non volatili, termolabili e che danno forti interazioni con la fase stazionaria, pertanto la

Gas Chromatography: a Powerful Analytical Method in Space Exploration

ABSTRACT 

GC and GC-MS systems are used for the *in situ* analysis of the atmosphere and surface of extra-terrestrial bodies, since they can fulfil the severe constraints of space instrumentation. GC, GC-MS, Pyr-GC-MS systems are present in the Cassini-Huygens mission to Titan, the largest moon of Saturn and in the Rosetta mission to explore comets. GC-MS analyses will be developed for the exploration of Mars in order to detect possible signs of past or extant life.

Space analysis requires a proper selection of stationary phases and operative conditions to obtain a good separation performance in the analysis conditions imposed by flight constraints: low power consumption, isothermal low temperature conditions.



loro analisi GC deve essere preceduta da una reazione di derivatizzazione chimica che, sostituendo l'atomo di idrogeno attivo, permetta di aumentare la volatilità dei composti, la selettività, l'efficienza e la sensibilità della separazione (15-16). Anche se i processi di derivatizzazione vengono impiegati normalmente nella pratica di laboratorio, finora non sono stati utilizzati in missioni spaziali. La reazione ideale dovrà soddisfare i requisiti imposti dal caso: possibilità di automazione, massima resa, singolo stadio, condizioni blande (bassa temperatura, tempi brevi) (16-17). Tra i vari reattivi, alcuni agenti siliantanti sembrano soddisfare questi requisiti: in particolare, si è sviluppato un metodo basato sulla derivatizzazione con MTBSTFA (N-metil-N-tert-butil-dimetilsililtrifluoroacetammide). Tale procedura risulta conveniente poiché possiede tutti i requisiti imposti dalle missioni spaziali: avviene a 75 °C, in 30 min., è quantitativa (rese dell'ordine del 96%), e non richiede procedure laboriose (estrazione, filtrazione ecc.) prima dell'analisi cromatografica (17). Inoltre i prodotti sono facilmente identificabili sia con un rivelatore universale aspecifico (in quanto il metodo non produce praticamente picchi interferenti), sia con uno MS in quanto i derivati posseggono frammenti caratteristici dovuti alla presenza del gruppo tert-butildimetilsilile introdotto nella molecola. In Figura 3 è riportato un cromatogramma GC-FID di una miscela di 43 componenti tra aminoacidi, acidi carbossilici lineari (C7-C20) ed aromatici (poliacarbossilici) derivatizzati con MTBSTFA.

Nelle future missioni spaziali si prevedono ulteriori sviluppi nello studio dell'attività ottica dei composti di interesse biochimico in quanto si tratta di una caratteristica fondamentale di molte molecole biogeniche (18): queste ricerche forniranno informa-

zioni fondamentali per comprendere l'origine della vita sul nostro pianeta, in particolare se l'omochiralità delle molecole che costituiscono i mattoni dei biopolimeri è di origine endogena o esogena, se la chiralità è una caratteristica peculiare degli esseri viventi sulla Terra o se esiste anche altrove.

Conclusioni

La scienza delle separazioni, e la cromatografia in particolare, danno un apporto fondamentale alla ricerca spaziale in quanto sono in grado di fornire informazioni quali/quantitative sulla composizione delle atmosfere e del suolo dei corpi extraterrestri: le strumentazioni attualmente disponibili possiedono i requisiti tecnologici necessari per operare con buona efficienza nei limiti delle condizioni operative imposte dalle condizioni di volo. Sviluppi tecnologici futuri, in particolare nel campo della miniaturizzazione ed automazione, potranno certamente migliorare le prestazioni degli strumenti operanti nelle sonde spaziali ed aumentare la quantità/qualità dei dati analitici ottenibili.

Allo stato attuale la gascromatografia risulta la tecnica separativa più adatta all'impiego nelle analisi spaziali. Per alcune applicazioni, per esempio nel caso di aminoacidi e composti molto polari, altre tecniche separative, quali Hplc o elettroforesi, risultano maggiormente sensibili e selettive, ma esse comportano lo svantaggio di utilizzare solventi e soluzioni tampone, e quindi problemi di stoccaggio (volume e peso) aggiuntivi. Questi problemi potrebbero essere risolti in futuro grazie al progresso delle tecniche miniaturizzate, quali nano-Hplc, CE, e rendere il loro impiego possibile nelle missioni spaziali.

Referenze

- (1) S.O. Akapo *et al.*, *J.Chromat. A.*, 1999, **843**, 147.
- (2) C. Szopa *et al.*, *J. Chromat. A.*, 2002, **982**, 303.
- (3) S.A. Benner *et al.*, *Proc. Natl. Sci.*, 2000, **97**, 2425.
- (4) R. Navarro-Gonzales *et al.*, *Science*, 2003, **302**, 1018.
- (5) D.R. Rushneck *et al.*, *Rev. Sci. Instrum.*, 1978, **49**(6), 817.
- (6) M.C. Pietrogrande *et al.*, *J. of Chromatography A*, 2001, **939**, 69.
- (7) R. Sternberg *et al.*, *Anal. Chem.*, 2002, **73**, 481A.
- (8) J. Kissel, F.R. Krueger, *Nature*, 1987, **326**, 755.
- (9) M.P. Bernstein *et al.*, *Science*, 1999, **283**, 1135.
- (10) G.M. Caro *et al.*, *Nature*, 2002, **416**, 403.
- (11) C. Szopa *et al.*, *J. Chromat. A*, 2002, **953**, 165.
- (12) M.C. Pietrogrande *et al.*, *J. Chromat. A*, 2003, **1002**, 179.
- (13) M.C. Pietrogrande *et al.*, *J. Sep. Sci.*, 2003, **26**, 1.
- (14) M.C. Pietrogrande *et al.*, *Planetary and Space Science*, 2003, **51**, 581.
- (15) T. Reichardt, *Nature*, 2004, **427**, 382.
- (16) C. Rodier *et al.*, *J. Chrom. A*, 2001, **915**, 199.
- (17) A. Buch *et al.*, *J. Chromatogr. A*, 2003, **999**, 165.
- (18) C. Rodier *et al.*, *Chirality*, 2002, **14**, 527.